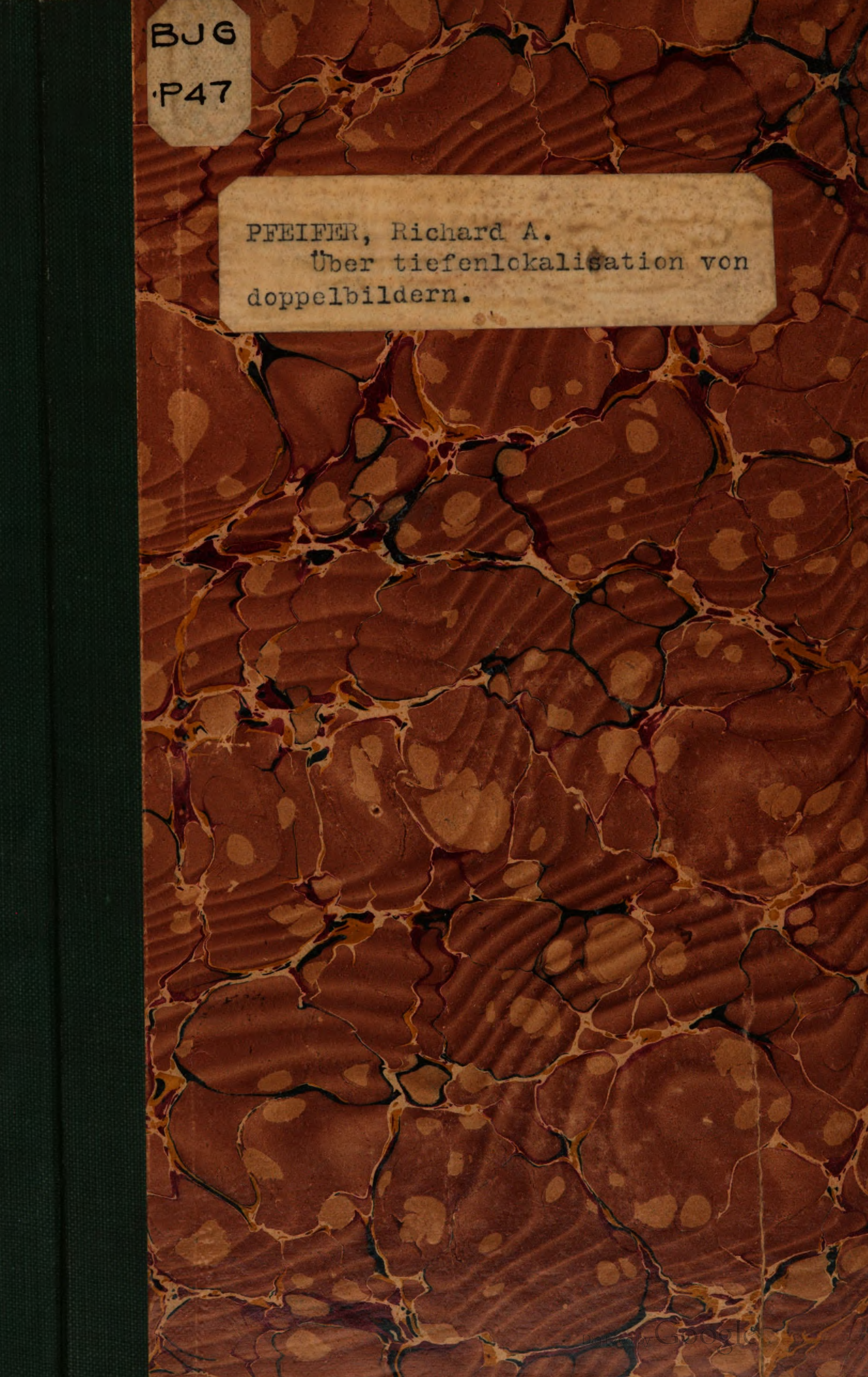

BJG
P47
PFEIFER, Richard A.
Über tiefenlokalisation von doppelbildern.



Über Tiefenlokalisation von Doppelbildern

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der philosophischen
Fakultät der Universität Leipzig

vorgelegt von

Richard Arwed Pfeifer
aus Brand (Sa.)

Mit 8 Figuren im Text

LEIPZIG
WILHELM ENGELMANN
1906

Angenommen von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Sektion auf Grund der Gutachten der Herren Wundt und Wiener

Leipzig, den 12. XII. 1905

Der Prokanzellar
Marx

Sonderabdruck aus: »Wundt, Psychol. Studien« Band II, Heft 3/4.

Seiner mütterlichen Freundin

Fräulein Elise Heymann in Dresden

und

dem Andenken seiner Eltern

gewidmet.

1. Kapitel.

Historische Übersicht.

§ 1.

Als wir an unsere Arbeit herantraten, konnten wir nicht erwarten, die ersten zu sein, die die Tiefenlokalisation der Doppelbilder zum Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung machten. Es sind in der Tat früher bereits nicht allein Beobachtungen angestellt, sondern auch experimentelle Veranstaltungen getroffen worden, um den Ort der Doppelbilder näher zu bestimmen. Bevor wir mit der Darlegung unserer eigenen Untersuchungen beginnen, sei es daher gestattet, kurz anzugeben, inwieweit die Lösung des Problems in früheren Zeiten versucht worden ist. Ihre Aufgabe wird eine solche historische Übersicht weniger in Lückenlosigkeit als vielmehr darin zu suchen haben, daß aller jener Forscher gedacht wird, die durch Originalität in ihren Beobachtungen, Versuchsmethoden oder Erklärungsweisen einen Beitrag zur Geschichte des Problems der Tiefenlokalisation von Doppelbildern geliefert haben.

§ 2.

Die ersten Angaben über die Tiefenlokalisation der Doppelbilder finden sich bei einem Zeitgenossen Keplers, dem Jesuitenpater Aguilonius (1) von Antwerpen. Durch ihn wird der Begriff des Horopters in die Wissenschaft eingeführt. Als Horopter bezeichnet

Aguilonius eine parallel zur Angesichtsfläche durch den jeweils fixierten Punkt gehende gerade Linie oder Fläche, in welcher alle gesehenen Dinge ihren scheinbaren Ort haben. Der Horopter selbst kann nun zwar nicht wahrgenommen werden, aber wir können uns, wie Aguilonius betont, der Annahme eines solchen als Erklärungsprinzips in gleicher Weise bedienen, wie etwa die Astronomen Hypothesen aufstellen, um ihre Beobachtungen in ursächlichen Zusammenhang zu bringen.

1. Das subjektive Sehfeld entsteht durch bipolare Projektion aller gesehenen Dinge in den Horopter mittels Strahlenbüschel, die von beiden Augen ausgehend gedacht werden. Das Doppeltsehen findet darin seine Erklärung. »Primo quidem efficax hujus rei argumentum est, quod nisi statuamus omnia in horoptere videri, nulla idonea causa reddi possit, ob quam certa oculorum dispositione res quaedam geminae conspiciuntur« [1]). In der Tat ist leicht zu ersehen, daß der Bipolarität der Projektion zufolge nur die im Horopter selbst gelegenen Dinge eine einfache Projektion ergeben können, während sich alle vor und hinter diesem befindlichen Gegenstände in das durch den Horopter gegebene Sehfeld gekreuzt und ungekreuzt doppelt eintragen müssen.

2. Die von Aguilonius als radii optici bezeichneten Projektionslinien sind identisch mit der Richtung, in der die Dinge gesehen werden; wo, d. h. in welcher Tiefe die Gegenstände in dieser Richtung im Raum erscheinen, bleibt durch den radius opticus an sich noch unbestimmt. Die Beobachtung lehrt nun nicht allein Fälle kennen, in denen die Sehrichtung durch das Objekt hindurch und darüber hinaus bis zu einer gewissen Grenze hin verfolgt wird (gekreuzte Doppelbilder), sondern auch solche, in denen die monokularen Sehrichtungslinien abzubrechen scheinen, noch bevor sie sich im Objekt kreuzen können (ungekreuzte Doppelbilder). Die Tatsachen nötigen zu der Annahme, daß die radii optici in einer ganz bestimmten Tiefe eine energische Abgrenzung erfahren müssen, wodurch dann gleichzeitig innerhalb der Sehrichtung den Dingen ein Tiefenort angewiesen wird. Als jene Grenze (*ὅρος*), »quae visum finit ac terminat«, muß aber der Horopter gedacht werden. »Nusquam vero commodius ac etiam verius apparens rei locus statui potest quam in horoptere citra vel ultra

---

[1]) l. c. lib. II, 148f.

quem nihil reperiri est, quod radium opticum ab oculo per rem extensum definiat.«

3. Gestalt und Lage des Horopters kann auch erschlossen werden aus jenem Experiment, nach welchem zwei in die Sehachsen gehaltene Objekte ein dreifaches Bild ergeben: »Cum enim duae res in axibus opticis constitutae tribus numerantur locis tum tres apparentes phantasiae in rectam lineam, illi quae centra visuum connectit parallelam, dispositae conspiciuntur. At mediam constat in horopterem transfundi eo scilicet loco ubi inter se axes committuntur. Igitur et reliquae (phantasiae) in eodem horoptere apparentem locum habent: is quippe per axium concursum mediamque phantasiam incedit.« Es ist danach unzweifelhaft gewiß, daß, nach der Anschauung des Aguilonius, die Doppelbilder ihren scheinbaren Ort im Horopter haben, d. h. in der Tiefe des Fixationspunktes gesehen werden.

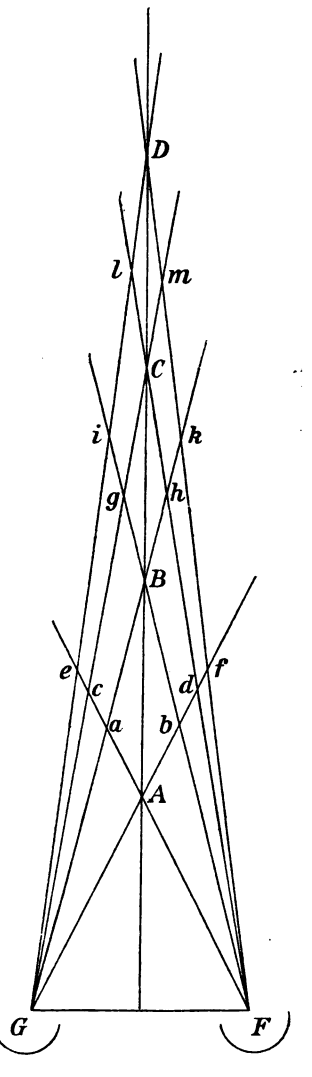


Fig. 1.

Bei Schulz (1816) (39) finden wir ein Schema (vgl. Fig. 1) angegeben, welches als ein Versuch bezeichnet werden kann, die Lage der Doppelbilder allein aus der relativen Lage ihrer Netzhautbildchen und der Projektion nach Richtungslinien zu erklären. Durch die Lage des Netzhautbildes ist zunächst die Sehrichtung der Dinge bestimmt. Der Sehort innerhalb dieser Richtung ist gegeben durch die Schnittpunkte der Richtungslinien des einen Auges mit der Hauptrichtungslinie (Sehachse) des andern Auges. Sind *G* und *F* die beiden Augen und *A*, *B*, *C*, *D* Stäbchen oder Lichtkerzen, die in der Medianebene Aufstellung gefunden haben, so zeigt sich, wenn *A* fixiert wird:

A	für	*G*	in	*A*	und für	*F* in	*A*,
B	»	»	»	*a*	» »	» »	*b*,
C	»	»	»	*c*	» »	» »	*d*,
D	»	»	»	*e*	» »	» »	*f*;

wenn *C* fixiert wird:

A	für	*G*	in	*d*	und für	*F* in	*c*,
B	»	»	»	*h*	» »	» »	*g*,
C	»	»	»	*C*	» »	» »	*C*,
D	»	»	»	*l*	» »	» »	*m* usw. usw.

Die Doppelerscheinungen sind gleichzeitig von einer scheinbaren Vergrößerung und Aufhellung des Objekts begleitet, die für gekreuzte Doppelbilder in dem Verhältnis mäßiger ist, als die scheinbare Verrückung des Ortes für gekreuzte Doppelbilder einen geringeren Betrag aufzeigt als für ungekreuzte. Von der Richtigkeit dieser Angaben soll man sich, wie Schulz auffordert, durch eigene Beobachtung überzeugen.

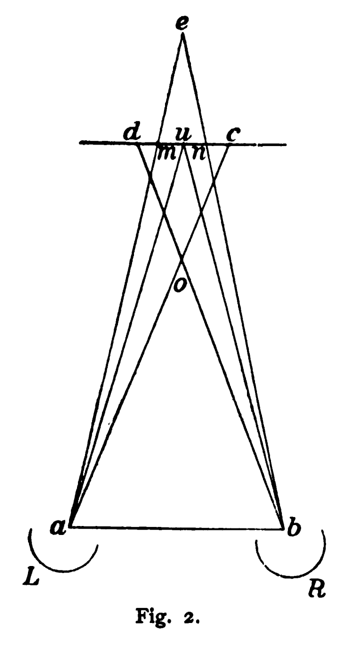


Fig. 2.

Johannes Müller (1826) (33) ist hinsichtlich der Tiefenlokalisation der Doppelbilder ganz befangen in der Anschauung des Aguilonius. »Wenn (vgl. Fig. 2) der Durchkreuzungspunkt der Sehachsen in *u*, die Gegenstände in *e* und *o*, so muß, da alle Bilder in der Ebene des Dekussationspunktes der Achsen scheinbar sind, *o* für *a* in *c*, für *b* in *d*, *e* für *a* in *m*, für *b* in *n* erscheinen.« (S. 185) [1]).

J. Müller geht aber nun weiter und setzt die Doppelbilder nicht nur in Beziehung zum Fixationspunkt, sondern auch zu dem in Doppelbilder zerfällten Objekt. Er statuiert funktionelle Abhängigkeiten zwischen dem gegenseitigen Abstand, den die Halbbilder eines Doppelbildes in der Tiefe des Fixationspunktes haben, einerseits und der Entfernung des doppelt gesehenen Objektes vom Fixationspunkt

[1]) Jene Ebene des Dekussationspunktes der Sehachsen (Horopter des Aguilonius) heißt bei Müller nicht mehr Horopter; als solcher wird vielmehr der scheinbare Ort aller binokular einfach gesehenen Dinge definiert.

oder dem Beobachter anderseits. »Ist die Entfernung eines Gegenstandes gleichbleibend, die Entfernung des Konvergenzpunktes der Sehachsen von dem Auge abnehmend, so wächst die scheinbare (laterale) Entfernung der Doppelbilder des Gegenstandes im Verhältnis der Summe der Sehwinkel, unter welchem jedes Auge den Gegenstand von der Sehachse entfernt sieht. In gleichem Verhältnis wächst die scheinbare (laterale) Entfernung der Doppelbilder, wenn bei gleich bleibender Entfernung des Konvergenzpunktes die Entfernung des Gegenstandes vom Auge wächst.«

Dieses Setzen von Abhängigkeiten, so knüpft nun Meißner (1854) (31) an Joh. Müller an, ist das einzige, was durch das Verlegen der Doppelbilder in den Horopter für die Raumauffassung geleistet werden kann. Aus dem gegenseitigen Abstand der Doppelbilder kann man günstigstenfalls auf die Entfernung des doppelt gesehenen Objektes schließen; die Doppelbilder selbst aber haben weder im Horopter ihren wirklichen Ort, noch irgendwo anders: die Doppelbilder haben gar keinen Ort. »Ein Doppelbild ist eine allein durch ein Auge vermittelte Wahrnehmung. Nennen wir ‚Ort' die Lokalisation eines Eindruckes nach drei Dimensionen, so haben die Doppelbilder gar keinen Ort; denn alle qualitativen Eindrücke, zu denen die Erregung nur eines Auges Veranlassung ist, sind in der Vorstellung nicht mit einem Tiefenwert ausgestattet. Jedes Doppelbild hat einen Breiten- und Höhenwert, aber dies sind seine einzigen räumlichen Beziehungen. Handelt es sich nun darum, diesen Breiten- und Höhenwert zu bestimmen, so heißt das nichts anderes als dem Doppelbild einen Ort, den scheinbaren Ort, in der Horopterfläche anweisen. Jene beiden Werte sind (laterale) Beziehungen zu dem fixierten Punkt in der Horopterfläche, und es ist daher vollkommen richtig, um den Ort der Doppelbilder voneinander zu messen, den Ort derselben dort anzunehmen, wo die Richtungslinien den Horopter schneiden; einen wahren Ort haben die Doppelbilder nicht, sondern nur einen scheinbaren, und ein scheinbarer Ort bezieht sich eben stets auf die jeweilige Horopterfläche.«

Einen ganz eigenartigen Ausbau hat die Theorie des Aguilonius, nach welcher die Doppelbilder ihren Ort in einer Projektionsebene (Horopter) haben, durch Albrecht Nagel (1861) (34) erfahren. Zwei durch den Fixationspunkt gehende Kugelflächen, deren Zentren die

Kreuzungspunkte der Visierlinien sind, werden von ihm als die Flächen bezeichnet, auf welche im allgemeinen die Doppelbilder projiziert werden. »*L* und *R* (vgl. Fig. 3) seien die Kreuzungspunkte der Visierlinien der beiden Augen. *b a c* ist der Durchschnitt der Projektionssphäre des rechten, *d a e* der des linken Auges; beide schneiden sich im Fixationspunkt *a*. Der jenseits der Projektionssphäre liegende Punkt *m* wird, falls Einfachsehen am wahren Ort irgendwie verhindert, vom linken Auge in *m'* gesehen, wo die Projektionslinie des Punktes die diesem Auge zugehörige Projektionssphäre trifft; das rechte Auge verlegt das Bild desselben Punktes nach *m''* .... *m'* und *m''* sind die scheinbaren oder, richtiger ausgedrückt, die vorgestellten oder wahr-

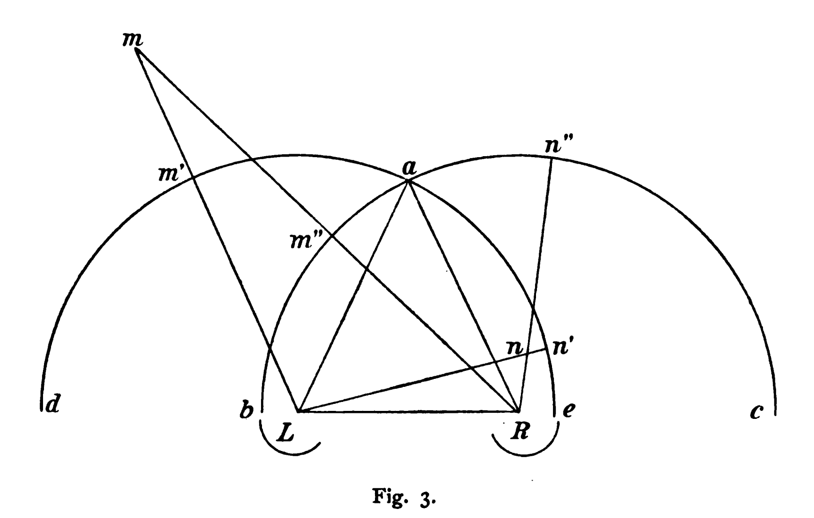


Fig. 3.

genommenen Orte der Doppelbilder; die Länge einer Linie, welche beide verbindet, würde den Abstand der Doppelbilder bezeichnen. Der diesseits der Projektionssphären gelegene Punkt *n* wird vom linken Auge in *n'*, vom rechten in *n''* gesehen.« *n* gibt also gekreuzte Doppelbilder, während *m* ungekreuzte ergab. Für sehr große Entfernungen kann man sich die beiden Projektionssphären ersetzt denken durch eine einzige ellipsoidische oder kugelförmige, deren Mittelpunkt im Halbierungspunkte der Basaldistanz liegt (Himmelsgewölbe). Wie Aguilonius, so beruft sich auch Nagel in der Begründung seiner Lehre darauf, daß eine große Anzahl ihm bekannter Tatsachen,

von denen er eine ganze Reihe auch aufführt, seine Theorie gerechtfertigt erscheinen lasse [1]).

In den Jahren 1862—68 veröffentlichte nun Ewald Hering eine Reihe epochemachender Schriften, in denen er sein Theorem vom »Ortssinn der Netzhaut« entwickelt und im engen Anschluß hieran das »Gesetz der identischen Sehrichtungen« aufstellt. Es bildet dabei eine wichtige Stütze für die auf diesen Grundlagen basierende Theorie des Sehens, daß sich ihr nach Hering auch die Phänomene des Doppeltsehens widerspruchslos einreihen. Die Anhänger der bis dahin im allgemeinen maßgebenden »Projektionstheorie« stellt Hering geradezu vor die Alternative, entweder ausreichenden Aufschluß über die Lokalisation der Doppelbilder zu geben oder aber zu bekennen, daß die Theorie für ein ganzes Gebiet von Tatsachen unzulänglich sei. Alle bisherigen Versuche, den Ort der Doppelbilder aus der Projektion nach Richtungslinien zu erklären, involvieren große Irrtümer. Der Theorie Nagels stellt Hering eine Menge Tatsachen gegenüber, die dem Schema der Projektionssphären direkt widersprechen; aber auch gegen die Lokalisation der Doppelbilder innerhalb einer ebenen Fläche in der Tiefe des Fixationspunktes, wie es die Anschauung der älteren Physiologen war, lassen sich gewichtige Gründe anführen:

1. »Halte ich einen Finger in einer Entfernung von 1 Fuß vors Gesicht und dahinter ein beliebiges Objekt, welches fixiert und langsam weiter entfernt wird, so zerfällt der Finger in Doppelbilder, die nicht etwa mit dem fixierten Objekt in immer größere Ferne rücken, sondern lediglich ihre seitliche Distanz vergrößern, während der Fixationspunkt entfernt wird« (17) [2]).

2. »Das Bild des Fingers liegt in dem einen Auge da, wo im andern die Wand abgebildet ist; beide Bilder erscheinen deshalb in einer und derselben Richtung, aber nicht auch an demselben Orte, sondern werden in verschiedener Entfernung gesehen, nicht bloß gedacht; denn ein auf die betreffende Wand gezeichneter Finger, der ein gleich großes Netzhautbild wie der wirkliche Finger gibt, erscheint riesengroß, wenngleich die Augenstellung und überhaupt alle andern

---

[1]) l. c. 99f.
[2]) l. c. 46.

Verhältnisse die nämlichen sind. Liegt der Fixationspunkt dem Gesicht nahe, so erscheint ein auf Papier gezeichneter Finger, den man in die Entfernung des Fixationspunktes bringt und sich genau auf derselben Netzhautstelle abbildet, die zuvor der wirkliche Finger einnahm, höchst winzig — Beweis genug, daß der Finger wirklich ferner gesehen wird, als der Fixationspunkt« (17)[1].

3. »Man halte einen Finger 8 Zoll entfernt vor das Gesicht und einen andern 24 Zoll entfernt, zwischen beiden ein beliebiges Fixationsobjekt, so wird man von beiden Fingern Doppelbilder erhalten, die soweit vom Gesicht entfernt erscheinen als die wirklichen Finger, wenn man sie fixiert. Dies geht schon daraus notwendig hervor, daß beim Schließen des einen Auges und dauernder Fixation des erwähnten Objektes die dem offenen Auge zugehörigen Doppelbilder in ziemlich richtiger Distanz vor und hinter dem Fixationspunkt und keineswegs in gleicher Ferne mit ihm gesehen werden« (16)[2].

4. Herings Fallversuch: Der Beobachter blickt durch eine Röhre, die die Wahrnehmung der seitlich gelegenen Objekte verhindert, nach einem bestimmten Fixationspunkt. Läßt man nun bald vor, bald hinter dem Fixationspunkt ein Kügelchen durch das Sehfeld fallen, so unterscheidet das normale Doppelauge deutlich das »Davor« von dem »Dahinter« und hat sogar eine annähernde Vorstellung von der absoluten Distanz der Fallbahnen vom Fixationspunkt (18)[3].

Die angeführten Versuche beweisen für Hering, daß die Doppelbilder nicht in der Tiefe des Fixationspunktes ihren Ort haben, sondern in einer Entfernung gesehen werden, in welcher sich das doppelt gesehene Objekt bei direkter Fixation zu befinden scheint. Diese Tatsache ist mit der Annahme einer Projektion nach Richtungslinien unvereinbar. Die Bilder müßten, wenn sie auf den Richtungslinien hinausgetragen würden, allemal nach dem richtigen Orte, von welchem sie herstammen, versetzt werden, womit aber gerade jener Grund wegfällt, den die Projektionstheorie für das Auftreten der Doppelbilder geltend macht.

---

[1]) l. c. 45.
[2]) l. c. 144.
[3]) l. c. 153.

Die Theorie Herings selbst sagt nun über die Tiefenlokalisation der Doppelbilder folgendes aus: In unserem Bewußtsein ist nichts enthalten von einer bipolaren Projektion der Sehdinge nach außen; alle sichtbaren Dinge erscheinen vielmehr in einer einheitlichen Orientierung zu einem zwischen beiden Augen gelegenen Punkte. Diese Erfahrungstatsache beschreibt das »Gesetz der identischen Sehrichtungen«. Der scheinbare Ort von einem Doppelbild ist danach zunächst bestimmt durch die der betreffenden Netzhautstelle zugehörige Sehrichtung. Die beiden auf den Fixationspunkt eingestellten Gesichtslinien haben ein und dieselbe Sehrichtung gemeinschaftlich, deren Verlauf durch die Halbierungslinie des parallaktischen Winkels wiedergegeben wird. Von dieser Hauptrichtung weicht die Richtung, in der die Doppelbilder gesehen werden, um den gleichen Winkel ab, den die durch den optischen Knotenpunkt des Auges nach dem doppelt gesehenen Objekt gezogene Richtungslinie mit der Sehachse bildet. Die Motive zur Lokalisation der Doppelbilder innerhalb ihrer Sehrichtung sind gegeben durch die Raumgefühle der Netzhaut und die Erfahrung im weitesten Sinne des Wortes. In gewissen Grenzen wird indes der Sehort innerhalb der Sehrichtung immer variabel sein und von Fall zu Fall wechseln, schon deshalb, weil die jeweilige Umgebung durch den Wettstreit der Sehfelder einen Einfluß gewinnt, der die Tiefenwerte ebenso wie die Lichtwerte der Doppelbilder stark modifiziert. Daher ist es ganz falsch, von einem Orte der Doppelbilder im allgemeinen zu sprechen. Nur die Sehrichtung läßt sich allgemein bestimmen, weil sie abhängt lediglich von der Lage des entsprechenden Netzhautbildes; der Sehort ist immer von Nebenumständen abhängig (17)[1]. — Das von Hering entworfene Schema vom Orte der Doppelbilder gibt denn auch nur über die Sehrichtung Aufschluß. Gleichwohl lasse sich unter sehr einfachen Bedingungen, wie sie etwa der Fallversuch darstellt, nachweisen, daß auch beim binokularen Doppeltsehen die Tiefenauffassung im wesentlichen durch die angeborenen Raumwerte der Netzhaut vermittelt wird. »Es läßt sich zeigen, daß gekreuzte doppelseitige Doppelbilder im allgemeinen näher, ungekreuzte ferner erscheinen als der Fixationspunkt, und daß ihr scheinbarer Abstand vom Fixationspunkt, d. i. zugleich

[1]) l. c. 45.

von der Kernfläche, zunimmt mit der Disparation ihrer Lage, daher ihre scheinbare Ferne mit der wirklichen des bezüglichen Objektes für gewöhnlich annähernd im Einklang ist.« Diese Tatsachen aber ordnen sich nach H. widerspruchslos dem Theorem vom Ortssinne der Netzhaut unter, nach welchem, auf die Kernfläche mit dem »Tiefenwert *O*« bezogen, nasalgelegenen querdisparaten Netzhautstellen ein »Fernwert«, temporalgelegenen querdisparaten Netzhautstellen ein »Nahwert« entspricht.

Durch Hering angeregt, hat Helmholtz (1864) (22) ebenfalls experimentelle Veranstaltungen getroffen, um zu entscheiden, ob die Doppelbilder im Horopter oder in der Tiefe des doppelt gesehenen Objektes ihren scheinbaren Ort haben. In den Versuchen wurden die Ergebnisse Herings durchgängig bestätigt. Zunächst erwies sich das Gesetz der identischen Sehrichtung als zutreffend: Überträgt man beide Netzhautbilder auf die Netzhaut eines zwischen beiden Augen gedachten imaginären Auges (Zyklopenauges), so geben die Richtungslinien dieses unmittelbar die Sehrichtungen der Doppelbilder an. Es ist ferner gar nicht wahr, sagt Helmholtz, daß wir Gegenstände, welche in deutlich getrennten Doppelbildern erscheinen, in der Entfernung des Fixationspunktes zu sehen glauben. Wir haben vielmehr eine ziemlich richtige Vorstellung von ihrer Lage und lokalisieren sie in die Ebene des in Doppelbilder zerfällten Objektes. Eine doppelt gesehene Stricknadel wird, auch wenn sie in ihrer jeweiligen Lage nie binokular einfach gesehen worden ist, mit der Hand beim ersten Versuche richtig erfaßt werden können (23)[1]. Nur bei sehr weit getrennten Doppelbildern, wie sie namentlich von weit entfernten Objekten sich bilden, wenn ein naher Gegenstand fixiert wird, und an denen kaum noch die Zusammengehörigkeit beider Bilder erkannt wird, hört die binokulare Tiefenwahrnehmung ganz auf, und es kann dann wie beim monokularen Sehen die Winkelgröße des entfernten Objektes mit der Winkelgröße des fixierten verglichen werden (23)[2] Die Annahme angeborener Raumwerte auf der Netzhaut glaubt Helmholtz entbehren zu können; die Raumanschauung ist nach ihm ein Produkt von Erfahrung und Einübung.

---

[1]) l. c. 868.
[2]) l. c. 869.

Donders (1871) (7) hält an der Projektion nach Richtungslinien fest. In welcher Entfernung liegen aber nun die Doppelbilder auf den Richtungslinien? Wenn alle weiteren Andeutungen (wie im dunkeln Raume) fehlen, dann liegen sie, beim unbeweglichen Fixieren, mit dem fixierten Punkt absolut in demselben Horopter. Inzwischen ist es wahr, daß beim gewöhnlichen Sehen, wobei man es durchgehends mit bekannten Gegenständen zu tun hat und diese durch die Bewegungen des Kopfes je nach ihrem Abstande parallaktisch bewegt werden, die Doppelbilder, sofern man darauf achtet, auf die wahre Entfernung von dem Gegenstande versetzt werden, dem sie angehören, so daß, wenn man vom fixierten Punkt z. B. zu einem näher gelegenen übergehen will, man sogleich ziemlich genau den erforderlichen Impuls zur Bewegung zu geben weiß, um ihn binokular zu fixieren [1]).

Auf Grund seiner eigenen Beobachtung hat ferner Cornelius (1864) (3) in seiner Theorie des Sehens die Projektionstheorie gegen die Lehre Herings in Schutz genommen. Er sagt darüber etwa folgendes: Man kann der Projektion nach Richtungslinien nicht unrecht geben, wenn sie hinsichtlich der Entfernung der Doppelbilder von einer Täuschung spricht. Die Doppelbilder des indirekt gesehenen Objektes liegen nämlich in der Tat dem Fixationspunkt näher als dasselbe Objekt, wenn es einfach gesehen wird. Davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man die betreffenden Entfernungen unmittelbar nacheinander soweit als tunlich miteinander vergleicht. Die Doppelbilder scheinen dann dem Fixationspunkte um so näher zu liegen, je mehr man sich gewissermaßen in die Anschauung des letzteren vertieft, ohne jedoch die ersteren dabei ganz unbeachtet zu lassen. Achtet man bei übrigens eingehaltener Fixation schärfer auf die Doppelbilder, so erscheinen diese eher in der Entfernung, welche dem wahren Abstand des indirekt gesehenen Objektes entspricht. Stellt man den Versuch, wie häufig, mit zwei Fingern an, die man hintereinander in verschiedenen Distanzen vor das Gesicht hält, so hat man freilich im voraus ein ziemlich genaues Urteil über den wahren Abstand der Objekte, ein Umstand, der einen Einfluß auf

[1]) l. c. 44ff.

die beschriebene Lokalisationsveränderung in dem Sinne ausüben wird, daß diese geringer ausfallen muß.

Auch Wundt (44) hat nie der Behauptung beipflichten können, daß die Doppelbilder in der Ebene des in Doppelbilder zerfällten Objektes ihren scheinbaren Ort haben sollen. So oft er sich der Betrachtung von Doppelbildern hingab, konnte er konstatieren, daß diese hinsichtlich der Tiefenlokalisation nach dem Fixationspunkt hin variierten und bei lang andauernder Fixation mit ihm in gleicher Tiefe erschienen. »Der scheinbare Ort der Doppelbilder nähert sich umsomehr dem Blickpunkt, je mehr der Blick festgehalten wird, und bei vollkommen starrer Fixation entsteht wirklich die Vorstellung, daß er sich in gleicher Entfernung befinde«[1]). Das von Hering (vgl. oben S. 11 Versuch 1) geltend gemachte Experiment gegen die Möglichkeit einer Lokalisation der Doppelbilder in der Tiefe des Fixationspunktes fällt bei Wundt zugunsten des von ihm Behaupteten aus, wenn man die dort geforderte Konvergenzveränderung nicht kontinuierlich, sondern sprungweise vollzieht. Wechselt man zwischen zwei Fixationsobjekten rasch die Konvergenz, während die Doppelbilder eines dritten, davor oder dahinter befindlichen Objektes der Beobachtung unterstehen, so gewahrt man, daß bei unveränderter räumlicher Lage des Doppelbildobjektes die Doppelbilder ihren Ort wechseln entsprechend der Lageveränderung des Blickpunktes[2]). Aus dem Heringschen Fallversuch resultiert für Wundt nur soviel mit Gewißheit, daß man beim ersten Anblick der Doppelbilder in der Regel eine deutliche Vorstellung von dem »vor« oder »hinter« dem Fixationspunkt besitzt; von der absoluten Entfernung der fallenden Körper gewinnt man dabei nur eine annähernde, ziemlich ungenaue Vorstellung. Damit befindet sich auch eine Beobachtung im Einklang, die man machen kann an einem geneigt gehaltenen Stabe, der von dem fixierten Punkt an in Doppelbildern divergiert. Man sieht nämlich, so sagt Wundt, zwar »in der Regel noch, welche Teile des Doppelbildes näher und welche ferner liegen als der Fixationspunkt; eine bestimmte Vorstellung über die Tiefenausdehnung des Stabes fehlt aber ganz und gar. Man überzeugt sich hiervon am besten, wenn man den

---

[1]) l. c. II, 608.
[2]) l. c. ebenda.

Stab eben noch kurz genug nimmt, damit eine Vereinigung möglich ist, und dann abwechselnd durch starre Fixation Doppelbilder hervorbringt und durch rasche Blickbewegungen wieder vereinigt« [1]). Damit steht keineswegs in Widerspruch, daß, wenn etwa das Netzhautbild einer geläufigen Vorstellung entspricht, auf Grund assoziativer Einflüsse den Doppelbildern annähernd diejenige Entfernung angewiesen wird, die dem ihnen entsprechenden Objekt wirklich zukommt. Im allgemeinen aber ist die Raumauffassung insbesondere hinsichtlich der Tiefendistanzen beim direkten Einfachsehen und binokularen Doppeltsehen durchaus verschieden.

Unter der Voraussetzung, daß die größte Genauigkeit in der Auffassung des wirklichen Raumes beim Binokularsehen durch sukzessive, direkte Fixation erreicht wird, erhebt Wundt die ständigen Unterschiede, die zwischen der Raumauffassung beim direkten Einfach- und binokularen Doppeltsehen bestehen, geradezu zu einem Kriterium des Doppeltsehens und sagt: »Wir sehen einfach, sobald das objektive Sehfeld (Form der uns zugekehrten Oberfläche der Gegenstände) mit dem subjektiven Sehfeld (räumliche Anordnung der Objektpunkte, wie sie auf Grund der Augenbewegungen und Konvergenzempfindungen vorgestellt wird) übereinstimmt; diejenigen Punkte des objektiven Sehfeldes aber erscheinen uns doppelt, die nicht in dem subjektiven Sehfeld gelegen sind [2])«.

Hatte Wundt bereits den Gedanken angeregt, die Richtung, in der die Doppelbilder gesehen werden, in Abhängigkeit zu bringen von dem Konvergenzmechanismus, so ist von Th. Lipps (28) der Versuch gemacht worden, nun auch den Tiefenort der Doppelbilder aus den »Lagegefühlen« der Augen konsequent abzuleiten. Für ein Doppelbild, so erwägt Th. Lipps, ist es charakteristisch, daß es aus zwei gleichen unokularen Eindrücken besteht. Die gleichen Eindrücke streben nun eben wegen ihrer Gleichheit aus dem Wettstreit der Sehfelder heraus zur stereoskopischen Vereinigung. Nun ist Bedingung für die Verschmelzung diejenige Richtung der Augen, die ihnen erlaubt, auf identische Punkte zu fallen. Also besteht ein Streben zur Herstellung dieser Richtung; es besteht speziell ein Stre-

---

[1]) l. c. II, 610.
[2]) l. c. II, 604.

ben zur binokularen Fixation, weil überhaupt die Stellen des deutlichsten Sehens vor andern bevorzugt sind. Die Fixation ist aber in mir überhaupt nie vorhanden außer in Form von Fixationsempfindungen oder der Lagegefühle, wie sie die Fixation in mir erzeugt. Ich strebe nach Fixation, und die Fixations- und Lagegefühle streben in mir auf, streben nach Verwirklichung in der unmittelbaren Empfindung — diese beiden Sätze sagen ein und dasselbe. Von da aus gelangen wir leicht zu der Einsicht, wie Doppelbilder ein Tiefenbewußtsein ergeben können, auch ohne tatsächliche sukzessive Fixation. Zunächst ist erforderlich, daß irgendwelche Eindrücke oder Teile der Bilder sich vor andern herausheben oder Gegenstand besonderer Aufmerksamkeit seien. Indem sie sich herausheben, tritt auch das Streben derselben nach Überführung auf die Stellen deutlichsten Sehens vor den gleichen Strebungen anderer Teile, d. h. es tritt die reproduktive Vorstellung des Lagegefühls, das aus der Überführung sich ergeben würde, aus der Menge der sonstigen Reproduktionen von Lagegefühlen heraus. Nun macht aber die Gleichheit je zweier entsprechender Teile der Bilder, daß das Streben des einen nach solcher Überführung nicht (in der Reproduktion) hervortreten kann, ohne daß das gleiche Streben des ihm entsprechenden, dem andern Auge zugehörigen Bildteiles zugleich mit heraustritt. Die beiden Lagegefühle schaffen sich danach gemeinsam reproduktive Geltung. In ihrer Gemeinsamkeit aber repräsentieren sie das binokulare Lagegefühl, wie es eben der tatsächlichen gleichzeitigen Überführung der beiden Eindrücke erfahrungsgemäß zugehört. Mit diesem binokularen Lagegefühl ist aber das Tiefenbewußtsein unauflöslich verbunden. Dies muß sich deshalb an die beiden gleichen Eindrücke ohne weiteres in dem Sinne heften können, daß nun auch das Doppelbild einen Tiefenort angewiesen erhält, welcher der Entfernung, in der sich das in Doppelbilder zerfällte Objekt bei direkter Fixation zu befinden scheint, annähernd genau entspricht.

Rein objektivistischer Natur sind die Betrachtungen, die Fr. v. Martini (1888) (29) im Anschluß an Hering und Le Conte (1883) (2) über die Lage der Doppelbilder im Raume anstellt. Wir wissen erstens, daß alle im Müllerschen Horopterkreise gelegenen Dinge einfach gesehen werden; wir wissen zweitens, daß alle Doppelbilder nach einem zwischen beiden Augen gelegenen Orientierungspunkt

orientiert erscheinen; wir wissen drittens, daß die doppelseitigen Doppelbilder in der Tiefe des in Doppelbilder zerfällten Objektes lokalisiert sind; — es folgt daraus, daß die Lage anderer Doppelbilder durch Interpolation auf dem Wege rein mathematischer Konstruktion gefunden werden kann. Für die beiden Augen *R* und *L* (vgl. Fig. 4) ist, wenn *F* der Fixationspunkt, die Lage der Doppelbilder des Dreiecks *ABC* gegeben durch *abC* und *αβC*. Trotz der scheinbaren Exaktheit werden solcherlei Konstruktionen nur allzuleicht einer abfälligen Kritik anheimfallen können, weil man nur an einer der Voraussetzungen zu rütteln braucht, um das ganze Gebäude zu stürzen.

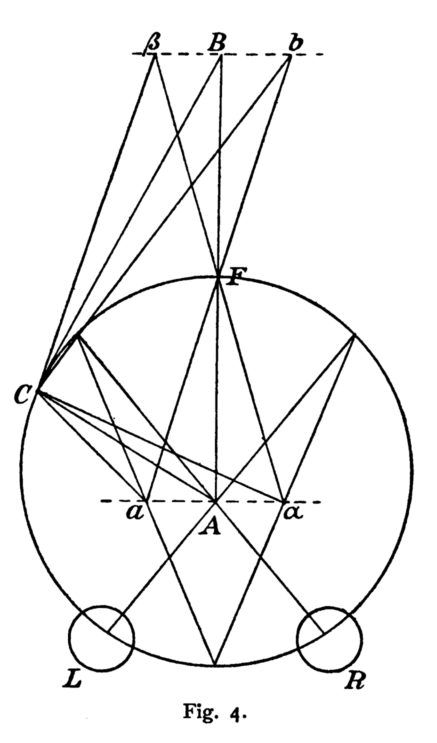


Fig. 4.

Durch eine ganze Reihe von Forschern: — Albr. v. Graefe (1854)(12), Förster (1859)(10), Alfred Graefe (1860)(14), A. Nagel (1862)(35), Mauthner (1889)(30), M. Sachs (1890) (37) und R. Fröhlich (1895) (11) — sind Tiefenunterschiede nachgewiesen und studiert worden an Doppelbildern, die bei pathologisch bedingter oder auch künstlich durch Vorlegen von Prismen erzeugter Höhendisparation entstehen. Dieser Forschungsergebnisse soll, so weit es erforderlich erscheint, weiter unten im Verlaufe der Darlegung unserer eigenen Untersuchungen gedacht werden.

In neuester Zeit haben A. Tschermak und P. Hoefer (40) (1903) gemeinsam Untersuchungen veröffentlicht »über binokulare Tiefenwahrnehmung auf Grund von Doppelbildern«. Wegen der prinzipiellen Bedeutung, die diese Arbeit für unsere eigenen Untersuchungen in methodischer Hinsicht gehabt hat, sei es gestattet, die bisher innegehaltene, rein referierende Darstellungsweise ausnahmsweise zu verlassen und gleich hier zu den Tschermak-Hoeferschen Unter-

suchungen in einigen Punkten kritisch Stellung zu nehmen. — Der Ähnlichkeit des Titels zufolge könnte man versucht sein, anzunehmen, daß die Problemstellung dort und hier dieselbe sei. Das ist keineswegs der Fall. Bei Tschermak-Hoefer handelt es sich um die Ermittelung der Empfindlichkeit beider Augen für Tiefenunterschiede im indirekten Sehen. Das Resultat der Arbeit gipfelt denn auch in dem Satze: »Die Genauigkeit dieses unzweifelhaft binokularen Lokalisationsvermögens erwies sich in unseren messenden Versuchen als keineswegs unbeträchtlich«. Über den Ort, wo die Doppelbilder gesehen werden, sagt die Untersuchung selbst nichts aus. Die Abhandlung steht nun allerdings unter der Voraussetzung, daß die Ferne der Doppelbilder unmittelbar gegeben, d. h. identisch sei mit der Entfernung des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Beobachter, weshalb denn auch ausdrücklich die Versuche als »messende« bezeichnet werden. Ob diese Voraussetzung zu Recht besteht oder nicht, wird nur durch eine Neuaufnahme diesbezüglicher Untersuchungen zu entscheiden sein. Es erscheint uns aber von vornherein gewagt, die Gültigkeit jener Voraussetzung ohne jede Einschränkung auch auf die Dunkeladaptation zu erweitern, wie dies bei Tschermak-Hoefer geschieht hinsichtlich der rechtzeitigen Abwehrbewegungen gegenüber plötzlich auftretenden oder etwa bei Momentbeleuchtung (Blitz) bemerkten Hindernissen (l. c. 320). Die allgemeine Erfahrung spricht gegen die Richtigkeit einer solchen Annahme. Geht man z. B. bei vollkommener Dunkelheit während eines Gewitters auf freiem Felde, so überschätzt man in der Regel, bei plötzlicher Aufhellung durch den Blitz, alle in der Medianebene gelegenen Distanzen derart, daß das Bahnwärterhäuschen etwa, auf welches der Weg zuführt, im Augenblick der Momentbelichtung in viel größerer Entfernung erscheint. Dagegen scheinen sich seitlich gelegene Objekte förmlich an den Beobachter heranzudrängen; man erschrickt vor einem Steinhaufen am Wege oder einem Pflug am Feldrande und kommt zufolge der Distanzunterschätzung mit der Abwehrbewegung (vorzeitiges Ausweichen oder Stehenbleiben, um das Anstoßen zu vermeiden) meist viel zu früh.

Zu einer weiteren Diskussion gibt die Bemerkung der Verfasser Anlaß, daß beim binokularen Doppeltsehen in unserem Bewußtsein unmittelbar etwas enthalten sei nicht allein von der Zusammengehörig-

keit je zweier Halbbilder zu einem Gesamteindruck, sondern auch von einer »Beziehung je zweier Halbbilder auf ein gemeinsames Objekt«. Bei der Wiederholung des Heringschen Fallversuchs bemerken Tschermak-Hoefer: »Stets erhielt der Beobachter den Eindruck näher oder ferner wie die fixierte Nadel, und zwar mehr oder weniger nahe oder ferner: er (der Beobachter) bezieht dabei die beiden Bilder auf ein einziges Objekt«. Seite 312 lesen wir: »Auf die bekannte Tatsache, daß die beiden zugehörigen Halbbilder ohne weiteres auf ein Objekt, also »richtig«, aufeinander bezogen werden, kommen wir noch später zurück...« und Seite 318: »Auch die schon bekannte Erscheinung, daß die Halbbilder eines Objektes ohne weiteres aufeinander bezogen werden, sei hier nochmals angeführt«. In der Literatur ist uns eine Behauptung ähnlicher Art bereits bei Helmholtz und Lipps begegnet. Als Substrat einer solchen gegenseitigen Beziehung der unokularen Eindrücke eines Doppelbildes aufeinander kann zweifelsohne nur die Tendenz zur stereoskopischen Vereinigung der Halbbilder gedacht werden. Es ist aber nun eine hinreichend bekannte Tatsache, daß man sich durch Übung im Doppeltsehen dieses Zwanges zur Stereoskopie — für deutlich getrennte Halbbilder sehr leicht — fast vollkommen entwöhnen kann. Infolge dieser Übung sträuben sich dann sogar in das Stereoskop eingelegte Bilder gegen die Vereinigung; diese Erfahrung bestätigt uns auch Hering (16): »Daher vermag der im Doppeltsehen sehr Geübte die einfachen, nicht schattierten, nur mit Punkten und Linien auf gleichfarbigem Grunde ausgeführten stereoskopischen Zeichnungen öfters gar nicht mehr oder nur mühsam stereoskopisch einfach zu sehen, während sie dem Ungeübten den schönsten Eindruck machen« (l. c. V, 337). Wo die unokularen Eindrücke eines Doppelbildes sich nicht zu dem Bild eines Gegenstandes vereinigen, machen sie den Eindruck von zwei Gegenständen [1]). Der geübte Beobachter ist imstande, das stereoskopisch einfach gesehene Bild des Gegenstandes beim raschen Übergang zum Doppeltsehen momentan in zwei Halbbilder auseinanderfliegen zu lassen, die dann ohne jeden größeren Energieaufwand, also frei vom Zwang zur Stereoskopie, wie festgebannt an ihrem Orte beharren. Der Empfindungsinhalt an sich

[1]) A. a. O. Donders.

sagt alsdann nichts mehr aus über die Zusammengehörigkeit je zweier Halbbilder zu einem Doppelbildeindruck oder gar über einen ursächlichen Zusammenhang der beiden Halbbilder mit dem vorher gesehenen, stereoskopisch einfachen Bilde des Gegenstandes. Wir sind genötigt anzunehmen, daß bei der oben zitierten Beschreibung des Tatbestandes der Reflexion weit mehr entsprochen worden ist als der tatsächlichen Beobachtung. Beim Gebrauche des Ausdruckes »Halbbild« für den unokularen Eindruck eines binokularen Doppelbildes aber wird man sich stets bewußt bleiben müssen, daß das Merkmal des Sinneseindruckes, welches mit dieser Bezeichnung charakterisiert werden soll, kein deskriptives, sondern ein auf Entstehungsursachen bezügliches, also genetisches ist.

Der die Forschungsergebnisse zusammenfassende Satz (siehe oben!) bei Tschermak-Hoefer scheint den Schluß zuzulassen, daß die Lokalisation der Doppelbilder eine bestimmte (konstant unter konstanten äußeren Bedingungen) sei. Gleichwohl finden wir S. 312 die Bemerkung: »Nach einer gewissen Zeit, welche individuell stark verschieden zu sein scheint, rücken die beiden unokularen Eindrücke oder Halbbilder geradezu in dieselbe Entfernung wie der fixierte Punkt bzw. in die sogenannte Kernebene«, so daß damit die Lokalisation der Doppelbilder wieder unbestimmt (variabel unter konstanten äußeren Bedingungen) zu werden scheint. Wir sind dadurch veranlaßt worden, in unseren Versuchen gleichzeitig auch der Frage nach der Bestimmtheit bzw. Unbestimmtheit der Doppelbildlokalisation experimentell näher zu treten.

§ 3.

Ein Resüme über die bisher gezeitigten Forschungsergebnisse hinsichtlich der Tiefenlokalisation von Doppelbildern ergibt folgende

Zusammenstellung.

I. Die Doppelbilder sind in einer durch den Fixationspunkt gehenden geraden oder gekrümmten Fläche lokalisiert:
   1. Horopter des Aguilonius,
   2. Projektionssphären bei Nagel.

II. Die Doppelbilder haben **keinen** wirklichen Ort, sondern sind lediglich ihrer Richtung nach, in der sie gesehen werden, be-

stimmbar (Meißner; vorbereitend für diesen Gedanken Joh. Müller).

III. Die Doppelbilder haben ihren Ort zwischen Fixationspunkt und dem doppelt gesehenen wirklichen Objekt (Schulz, Cornelius).

IV. Die Doppelbilder haben ihren Ort in derjenigen Ferne, in welcher das in Doppelbilder zerfällte Objekt bei direkter Fixation erscheint, und zwar

1. Aus nativistischen Gründen (bei Hering, Le Conte, Fr. v. Martini usw.),
2. Aus empiristischen Gründen (Helmholtz, Th. Lipps).

V. Der Tiefenort der Doppelbilder ist ein wechselnder und variiert

1. Je nachdem der Raum Anhaltspunkte für die Tiefenlokalisation gewährt oder nicht (Donders),
2. Mit der Länge der Fixationsdauer (Wundt) oder der Expositionsdauer des Doppelbildeindruckes (Tschermak-Hoefer),
3. Durch die willkürliche Konzentration der Aufmerksamkeit auf das Doppelbild oder den Fixationspunkt (Cornelius).

2. Kapitel.

Vorbemerkungen und erste Versuchsergebnisse.

§ 4. Problemstellung.

Die Frage nach dem scheinbaren Orte der Doppelbilder läßt sich in eine Reihe von Spezialproblemen auflösen, deren präzise Formulierung wir nachstehend geben:

1. Ist die Tiefenauffassung beim direkten Einfach- und indirekten Doppeltsehen dieselbe, d. h. behaupten die Dinge hinsichtlich der Tiefe den gleichen scheinbaren Ort, gleichviel ob sie direkt fixiert oder binokular doppelt gesehen werden?

Sollten sich für das binokulare Doppeltsehen Lokalisationsunterschiede ergeben, so haben sich die nächsten Fragen auf Richtung und Maß dieser Unterschiede zu erstrecken.

2. Erfolgt die Tiefenlokalisation beim indirekten Doppeltsehen, verglichen mit der Fixation bei direkter Fixation, im Sinne einer Über- oder Unterschätzung der Distanzen? (qualitative Ortsbestimmung der Doppelbilder), und

3. Wie groß ist der begangene Schätzungsfehler? (quantitative Ortsbestimmung der Doppelbilder).

Es gilt ferner zu ermitteln:

4. Ist die Lokalisation der Doppelbilder eine bestimmte (konstant unter konstanten äußeren Bedingungen) oder unbestimmte (variabel unter konstanten äußeren Bedingungen)?

Es wird endlich der zu entwickelnden Theorie anheimfallen, festzustellen:

5. Läßt sich die für das binokulare Doppeltsehen maßgebende Raumauffassung erklären aus der Herrschaft jener Faktoren, die im direkten Sehen die binokulare Tiefenauffassung bestimmen, oder nötigt sie zur Annahme neuer Raumfaktoren, die dem binokularen Doppeltsehen, hinsichtlich der Auffassung von Tiefendimensionen, ein vom stereoskopischen Einfachsehen abweichendes spezifisches Gepräge verleihen?

Im Interesse der befriedigenden Lösung des Gesamtproblems macht sich aber gleichzeitig eine Beschränkung der Untersuchung nötig auf ganz bestimmte Fälle des Doppeltsehens. Der Ausfall des stereoskopischen Sehens ist für das binokulare Doppeltsehen charakteristisch. Gleichwohl macht sich bisweilen ein Zwang geltend, die Halbbilder eines Doppelbildes stereoskopisch zu vereinigen. Diese Tendenz besteht für alle Doppelbilder, deren Halbbilder direkt hintereinander stehen oder sich teilweise überdecken oder mit den Rändern berühren. Um diesen störenden Faktor zu eliminieren, wird sich die Untersuchung zu beschränken haben auf Doppelbilder, deren Halbbilder dem Beobachter deutlich getrennt erscheinen und auf Grund eines ausreichenden Abstandes voneinander der Tendenz zu stereoskopischer Vereinigung entbehren.

§ 5. Terminologie.

Da der Gebrauch des Begriffes »Doppelbild« in der Literatur kein einheitlicher ist, halten wir es für angezeigt, darauf hinzuweisen, daß für vorliegende Arbeit die Terminologie nach dem Vorgange Wundts gewählt worden ist. Wird ein und derselbe Objektpunkt binokular doppelt gesehen, so heißt das: er erscheint in einem Doppelbild. Dieses besteht aus zwei Halbbildern, deren jedes einem einzelnen Auge angehört. Das Doppelbild ist danach ein binokularer, das Halbbild ein unokularer Sinneseindruck.

§ 6. **Vorversuche.**

1. Steht man an dem einen Ende eines gut erhellten, langen Korridors und fixiert seinen etwa 30 cm vor das Gesicht in die Medianebene gehaltenen Finger, indes die Aufmerksamkeit der Tiefendimension des Korridors zugewandt ist, so erscheint dieser ungemein verlängert. — Der Versuch läßt sich mit dem gleichen Erfolg in jeder Baumallee wiederholen.

2. Man setze sich auf einen Stuhl und strecke die Beine so weit nach vorn, daß die Füße bequem gesehen werden können. Vor das Gesicht halte man alsdann ein Fixationsobjekt, während die Aufmerksamkeit gleichzeitig auf die Füße gerichtet ist: die Beine erscheinen um vieles verlängert; man schätzt ihre Länge auf mehrere Meter.

3. Auf einem Tische werden drei sehr dünne Stricknadeln, denen je eine Korkscheibe als Fuß dient, in gleichen Abständen voneinander (etwa 40—50 cm) so zur Aufstellung gebracht, daß sie für den Beobachter hintereinander in der Medianebene stehen. Jede Nadel trägt an ihrer Spitze ein schwarzes Kartonscheibchen (1,0—1,5 cm Durchmesser), dessen breite Fläche dem Beobachter zugekehrt ist. Fixiert man den mittleren Punkt (*F*), so zerfällt der vordere (*A*) in ein gekreuztes, der hintere (*B*) in ein ungekreuztes Doppelbild. Vergleicht man jetzt die beiden Doppelbilder miteinander hinsichtlich ihres Abstandes vom Fixationspunkt, so ergibt sich, daß das Doppelbild von *A* sehr viel näher an *F* zu stehen scheint als das Doppelbild von *B*.

4. Dem Landhaus gegenüber, in dem ich wohne, steht eine alte Feldscheune mit sehr hohem Dach. Fixiere ich von meinem Zimmerfenster aus einen Punkt von dem untersten Teil des Daches (Dachrinne), so verändert sich Neigungswinkel und Tiefendimension der Dachfläche auffallend: das Dach scheint sehr flach zu liegen und erstreckt sich weit in die Tiefe; würde ich aufgefordert, meinen Abstand von dem Dachfirst in Metern zu schätzen, so würde ich bestimmt überschätzen. Fixiere ich dagegen die Mitte des Dachfirstes, so nimmt die Steilheit des Daches zu: die Dachfläche steht nahezu senkrecht. Der Versuch, jetzt die Entfernung der Dachrinne vom Beobachter zu schätzen, ist schwieriger, fällt aber dennoch im Sinne einer Überschätzung aus. Es erscheint mir aber außerdem, je nachdem der obere oder untere Teil des Daches fixiert wird, auch der

senkrechte Abstand zwischen Dachrinne und Dachfirst verschieden groß: er wird im ersten Falle überschätzt, im zweiten dagegen unterschätzt.

5. Zwei Holzstäbchen, denen je eine Korkscheibe als Fuß dient, stelle man auf einem langen Tisch derart auf, daß, wenn der Beobachter an dem einen Ende der Tafel sitzt, sich das erste Stäbchen (*A*) ihm gegenüber am andern Ende befindet, während das zweite Stäbchen (*B*) um zwei Dritteile der Entfernung des ersten näher steht und gleichzeitig ein Stück rechts seitwärts aus der Medianebene herausgerückt ist. Fixiert man *A*, so erscheint *B* in einem gekreuzten einseitigen Doppelbild. Wird aber nun zwischen *A* und *B* die Fixation rasch gewechselt, so führt *B* in demselben Moment, in dem man mit der Konvergenz von *A* nach *B* übergeht, eine sprunghafte Scheinbewegung auf den Beobachter zu aus: das Stäbchen scheint sich nach der Medianebene zu und gleichzeitig nach vorn zu bewegen.

6. Ich sitze an meinem Schreibtisch vor einem aufgeschlagenen Buche; beim Ausruhen von der Arbeit blicke ich von ungefähr, ohne feste Fixation, über den oberen Rand des Buches hinweg auf den Tisch. Ich habe dann sehr oft, namentlich bei ermüdetem Auge, die überaus eindringliche Täuschung, als ob das Buch plötzlich in sehr weite Ferne rücke. Ich kann dann immer konstatieren, daß die Gesichtslinien auf einen hinter dem Buche gelegenen imaginären Fixationspunkt eingestellt sind.

7. Auf einer großen weißen Fläche (mit Papier überspannter vertikal stehender Holzrahmen), die als Hintergrund dient, wird eine schwarze Scheibe von 10 cm Durchmesser befestigt. Der Beobachter nimmt vor diesem Schirm so Aufstellung, daß dieser der Angesichtsfläche parallel steht. Die Fixation eines 40 cm vor das Gesicht gehaltenen dünnen Stäbchens zerfällt den Punkt in ein gleichnamiges Doppelbild. Verlegt man nun den Fixationspunkt unter eines der beiden Halbbilder, so tritt ein Tiefenunterschied evident zutage. Das jeweils außerhalb der Medianebene gelegene Halbbild steht um vieles näher. Die Erscheinung ist, da man durch Bewegen des fixierten Stäbchens nach links und rechts abwechselnd das rechte bzw. das linke Halbbild nach vorn rücken lassen kann, unabhängig von der etwa durch die Belichtung der Augen bedingten Farbenverschiedenheit (vgl. Fechners Fensterversuch (9)) der beiden Halbbilder.

8. Ein rundes Korkstückchen von der Größe eines Pfennigstückes wird, indem man es befeuchtet, an der Glasscheibe eines Zimmerfensters befestigt. Die Versuchsperson nimmt etwas tiefer Platz, um den grauen Himmel als Hintergrund benützen zu können. Legt man vor das eine Auge ein Prisma, so erscheint das Korkstück in einem Doppelbild, dessen Halbbilder, unabhängig von der Lage des brechenden Winkels — bei Höhendisparation indes auffälliger als bei Querdisparation — in ungleichen Abständen vom Beobachter gesehen werden. Man kann nun die Halbbilder ihren Ort hinsichtlich der Tiefe durch einen Fixationswechsel beliebig austauschen lassen. Fixiert man bei bestehender Höhendisparation das obere Halbbild, so scheint das untere und umgekehrt bei Fixation des unteren das obere Halbbild näher zu stehen. Mit dem scheinbaren Näherstehen ist ständig auch scheinbare Verkleinerung des betreffenden Halbbildes verknüpft. Die Erscheinung wird sehr eindringlich, wenn man erst das in ein Doppelbild zu zerfällende Objekt fixiert und dann rasch ein Prisma (14°) vor das Auge führt; das dem überdeckten Auge zugehörige Halbbild ist alsdann unter allen Umständen das näherstehende und kleinere.

Ergebnisse der Vorversuche.

1. Die Vorversuche lassen den Schluß zu, daß die Raumauffassung für das direkte Einfach- und das indirekte Doppeltsehen durchaus verschieden ist.

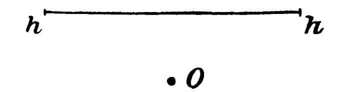
2. Die Lokalisationsunterschiede fallen für das binokulare Doppeltsehen im Sinne einer Überschätzung aus, und zwar für hinter dem Blickpunkt gelegene Tiefendistanzen in weitaus höherem Maße als für Strecken vor dem Fixationspunkte.

3. Auch innerhalb eines Doppelbildes treten Tiefenunterschiede auf, sobald die Lage desselben zur Medianebene eine asymmetrische ist.

§ 7. Methodische Grundlegung.

Die neue Versuchsanordnung sollte vor allen Dingen die Möglichkeit gewähren, den Ort der Doppelbilder quantitativ zu bestimmen. Damit war von vornherein die Einführung eines Maßstabes in das Sehfeld gefordert. Da sich nun das Unternehmen, dem Beobachter mit der zu beurteilenden Doppelbild-Tiefendistanz gleichzeitig eine

andere, zum Vergleich dienende (etwa monokular einfach gesehene) Strecke zu exponieren, als unangängig erwiesen hatte, weil alle simultan eingeführten Objekte das Sehfeld zum Nachteil der psychologisch einfachsten Vergleichsbedingungen komplizieren, anderseits aber auch, wenn die Situation bei der Schätzung der Doppelbilder möglichst wenig verlassen werden soll, eine längere Zeit nachher dargebotene Vergleichsstrecke, die nicht ganz die gleiche Lage im Sehfeld einnimmt, nicht zu gebrauchen war, so haben wir uns schließlich für eine Spiegelungsmethode entschieden, die es gestattet, für die zu beurteilende Doppelbildstrecke eine andere Distanz, die mit der Fixation durchlaufen werden kann, an der gleichen Stelle des Raumes sukzessiv zu substituieren. An der Hand des nachstehenden Schemas



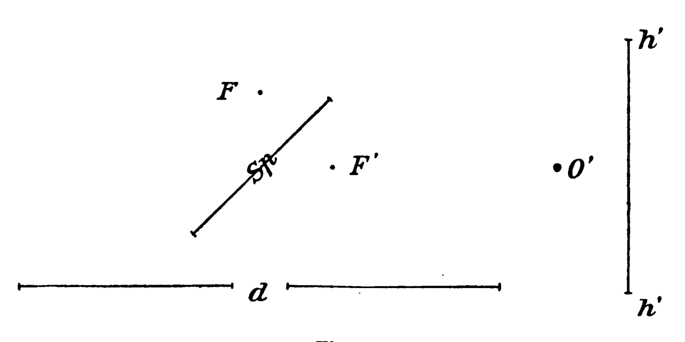


Fig. 5.

sei die Anordnung kurz skizziert: *d* ist der Spalt, durch den der Beobachter hindurchblickt, *Sp* ein Spiegel, der in einem vertikalen Geleise beweglich ist und durch einen Fadenzug aus dem Sehfeld entfernt werden kann. *h—h* und *h'—h'* bilden den Hintergrund. Ist *F* der Fixationspunkt und *O* das in Doppelbilder zerfällte Objekt, so ist *F' O'* die zum Vergleich dienende Distanz.

Die Versuchsmethode ist folgende: Der Spiegel, dessen Ränder durch das Diaphragma *d* verdeckt sind, füllt das ganze Seh-

feld aus, d. h. während *F' O'* widergespiegelt werden, bleibt *F O* dem Beobachter unsichtbar. Durch Fixation von *O'* versucht man sich nun einen Eindruck von der Entfernung dieses Objektes zu verschaffen. Inzwischen zerfällt zwar *F'* in ein gekreuztes Doppelbild; wählt man aber *F'* hinreichend klein, so wird durch dieses Doppelbild die Tiefenauffassung von *O'* in keiner Weise beeinträchtigt. Hat der Beobachter den Tiefenort von *O'* möglichst deutlich erfaßt, so geht er mit der Fixation rasch nach *F'* über, indes gleichzeitig durch einen Ruck der Spiegel *Sp* aus dem Sehfeld entfernt wird, wodurch *F' O'* der Beobachtung entzogen und dafür *F O* an der gleichen Stelle im Raume substituiert erscheint. Im gleichen Moment also, in dem der Beobachter von *O'* aus mit der Fixation in *F'* angelangt zu sein meint, fixiert er in Wirklichkeit *F*, und *O* erscheint ihm doppelt. — Es soll nun ein Urteil darüber abgegeben werden, ob das vorher einfach gesehene Objekt *O'* oder das jetzt wahrgenommene Doppelbild von *O* näher zu stehen scheint. Da stets *O'* einfach und *F'* doppelt, *O* doppelt und *F* einfach gesehen wird, ist die Situation des Vergleichs folgende: Eine Strecke, die vorn von einem Doppelbild und hinten durch einen binokular einfach gesehenen Punkt begrenzt wird, soll verglichen werden mit einer solchen, die begrenzt wird durch einen binokular einfach gesehenen Punkt vorn und hinten von einem Doppelbild. Die beiden Distanzen stehen sich dabei räumlich und zeitlich so nahe als nur möglich, und der Vergleich hinsichtlich ihrer Größe wird bei einiger Übung unschwer auszuführen sein. Je nachdem die eine oder die andere Distanz variabel gehalten wird, kann das Urteil auf das Objekt *O* oder *O'* bezogen und durch die Ausdrücke: »Zu weit!« »Zu nahe!« »Gut!« präzisiert werden.

§ 8. Beobachtete Kautelen.

1. Aus Gründen der experimentellen Einfachheit wurde die Medianebene und deren nächste Umgebung für das Studium der Doppelbilder in Aussicht genommen.

2. In allen früheren Arbeiten fanden zur Erzeugung von Doppelbildern lineare Objekte Verwendung (Fäden, Nadeln usw.). Ist nun schon der Punkt im Vergleich zur Linie das psychologisch Einfachere, so war für vorliegende Arbeit der Gebrauch von Punkten um so

näher gelegt, als Linien für die Tiefenwahrnehmung stets sekundäre Merkmale an die Hand geben. Daneben sind aber auch in allen Fällen, wo Höhendisparation in Frage kommt, ständige Korrekturen der Richtung der Linien notwendig, damit die Halbbilder als Parallelen erscheinen. Der Eindruck aber von »in der Luft frei schwebenden Punkten« wird zu erzielen sein, wenn man die Punkte auf Glasplatten — um die Schärfe der Konturen nicht zu beeinträchtigen, auf der dem Beobachter zugekehrten Seite — anbringt, die bei durchfallendem Lichte und Verdeckung der Ränder durch ein Diaphragma, selbst nicht gesehen werden können. Für eine Mehrzahl von hintereinander liegenden Punkten wird dann allerdings je nach der Zahl der zwischen Punkt und Beobachter befindlichen Glasplatten Helligkeit und Konturenschärfe verschieden sein. Kann aber dieser Mangel zum Teil schon durch die Wahl der Glassorte und die geringe Stärke der Platten (0,9 mm starkes Salinglas, das ist Deckglas, wie es beim Mikroskopieren Verwendung findet) gehoben werden, so geht er außerdem für den Vergleich noch seines störenden Einflusses verlustig durch die ganze Art der Vergleichsmethode, nach welcher der Nachteil dann für die Doppelbilddistanz in gleichem Maße besteht wie für die gespiegelte Vergleichsstrecke.

3. Es ist eine beim Studium der Literatur auffallende Erscheinung, daß der Behauptung, »die Doppelbilder sind in der Tiefe des Fixationspunktes lokalisiert«, stets die Fixation während einer längeren Zeit bzw. eine größere Expositionsdauer des in Doppelbilder zerfällten Objektes korrespondiert (Wundt, Donders, Cornelius, Tschermak-Hoefer), während diese Tatsache, daß Doppelbilder in der Ebene des Fixationspunktes erscheinen können, heftig von jenen bestritten wird, die mit Momenteindrücken experimentierten (Herings Fallversuch). Bedarf also die Expositionsdauer einer sorgfältigen Überwachung, so glaubten wir doch dieselbe nicht dahin regulieren zu dürfen, daß ihre Auslösung durch einen selbsttätigen Mechanismus für objektiv bestimmte, gleiche Zeiträume erfolgt. Um ein sicheres Urteil über eine Tiefendimension abgeben zu können, ist zweifelsohne eine geraume Zeit nötig — das lehrt schon das alltägliche Leben. Die hierfür günstigste Zeit ist aber nicht allein individuell durchaus verschieden, sondern wechselt auch für den einzelnen Beobachter je nach der Aufmerksamkeitsdisposition. Wir können

also gewiß sein, die besten Bedingungen zu statuieren, wenn die Regelung der Expositionsdauer durch die Versuchsperson selbst geschieht. Der Beobachter schaut sich die Doppelbilder so lange an, bis er in seinem Urteil über die Tiefenlokalisation sicher ist. Für den Fall aber, daß inzwischen die Doppelbilder Lageveränderungen obengenannter oder auch anderer Art erfahren sollten, wird die Exposition von der Versuchsperson selbst aufgehoben (Herabfallenlassen des Spiegels). Daß bei längerer Fixation Lageveränderungen der Doppelbilder tatsächlich vorkommen können, konnte im Verlaufe der Untersuchungen sehr bald konstatiert werden. Sie machen sich aber sofort kenntlich an der großen Unsicherheit oder gänzlichen Unmöglichkeit, überhaupt ein Urteil zu fällen, sowie an der Inkonstanz der Gleicheinstellungen. Für die weitaus meisten Fälle genügte es, einigemal den Spiegel bei gleichzeitigem Fixationswechsel auf und ab zu bewegen, um die momentane Störung zu beseitigen; andernfalls wurde der Versuch durch eine Pause unterbrochen.

4. Um die Helligkeit regulieren zu können, wurde anfangs für die Untersuchungen die künstliche Beleuchtung in Aussicht genommen. Das Unternehmen scheiterte jedoch an den technischen Schwierigkeiten, ja man kann sagen, an der Unmöglichkeit, das Licht ebenso diffus und vor allem ebenso hell herzustellen, wie es in der Tagesbeleuchtung geboten wird. Jeder Grad von Dunkeladaptation aber macht die Bedingungen ungünstiger.

5. Nach Helmholtz kann die Größe des Fixationspunktes eventuell ein relatives Maß abgeben für die Größe der Doppelbilder, um daraus auf deren Ferne zu schließen. Dieser Faktor soll vorläufig eliminiert bzw. kontrollierbar gestaltet werden. Der Fixationspunkt wird so klein als nur möglich gewählt und dient lediglich zur Arretur der Konvergenz. Seine Farbe, die, wie Versuche an Herings Fallapparat zeigten, durchaus nicht willkürlich sein kann, ist, wie die der in Doppelbilder zerfällten Punkte, schwarz. Die jeweilige Lage zum Diaphragma wird für jeden einzelnen Versuch besonders angegeben.

6. Die Augen der Versuchspersonen wurden einer sorgfältigen Funktionsprüfung unterzogen. Die Korrektur der Sehschärfe allein genügt dabei nicht. Es ergeben sich vor allem, wie weiter unten dargetan werden soll, aus der Verschiedenheit der beiden Augen des

Beobachters und der in vielen Fällen damit verknüpften Lageveränderung des Orientierungspunktes Störungen in der binokularen Lokalisation, die auch beim Doppeltsehen eigenartige Erscheinungen bedingen.

7. Für die Färbung des Hintergrundes erwiesen sich Braun und Grau als die Farben, die den störenden Einfluß des Kontrastes am besten beseitigten. Braun (etwa das Hellbraun von Kartonpappe oder der gebräuchlichen Fußbodenfarbe) wurde deshalb gewählt, weil es technisch leichter hergestellt werden konnte.

8. Von der Arretur des Kopfes während der Beobachtung wurde im Verlauf der Versuche wieder Abstand genommen, weil sie die Anstrengungen, denen die Beobachter durch die starre Fixation ausgesetzt waren, noch um eine Unbequemlichkeit vermehrte. Überdies ging aus der Konstanz der Ergebnisse sehr bald hervor, daß die Schwankungen des Kopfes, die die verwendete annähernde Kopfarretur um einige Millimeter zuließ, von keinerlei Einfluß auf die Sicherheit der Doppelbilder-Tiefenlokalisation waren.

9. Tschermak-Hoefer haben es in ihrer Versuchsanordnung für nötig befunden, Garantie leisten zu müssen, daß während der Fixation keinerlei Blickschwankungen eintraten, indem sie dem Beobachter im indirekten Sehen ständig zwei Nadeln von solchem gegenseitigen Abstand exponierten, daß die inneren Halbbilder der Nadeln in der Medianebene stereoskopisch vereint erscheinen; der jedesmalige Zerfall der stereoskopisch einfach gesehenen Nadel in die Halbbilder zeigte dann momentan die Blickschwankungen an. Wir glaubten eine derartige Kontrolle entbehren zu können. Aus den Ergebnissen vorliegender Arbeit wird erhellen, wie ungemein rasch sich psychologisch die Bedingungen komplizieren, wenn mehrere Objekte im Gesichtsfelde sich befinden. Wir sind aus diesem Grunde schon gewiß, das kleinere von zwei Übeln gewählt zu haben, wenn wir gegenüber der Möglichkeit geringer Blickschwankungen die Sauberkeit des Sehfeldes aufrechterhielten. Außerdem muß man nach Hering geradezu annehmen, daß das Auge, um sich der Lage des optischen Bildes auf der Netzhaut gewissermaßen zu versichern, Oszillationen von geringem Umfang immer ausführt. Daß aber mit den Blickschwankungen ein gewisses Maß nicht überschritten wurde, dafür leistete in unseren Versuchen die geringe Größe des Fixationspunktes hinreichende

Garantie, indem ein sehr kleines Objekt an sich, um deutlich gesehen zu werden und deutlich zu bleiben, ein genaueres Hinsehen erfordert und überdies schon bei unbeträchtlichen Blickschwankungen für den geübten Beobachter in Doppelbilder zerfällt.

§ 9. Die provisorische Versuchsanordnung.

Unter Anwendung der vorstehend entwickelten Prinzipien bedienten wir uns während zweier Semester einer provisorischen Versuchsanordnung, deren ausführliche Beschreibung hier um so eher unterbleiben kann, als alle daran wahrgenommenen Vorteile beim Bau des weiter unten zu erklärenden Doppelbilderapparates Berücksichtigung gefunden haben. Die Glasplatten wurden in der provisorischen Anordnung auf rechtwinklig zueinander stehenden Tischreihen entlang gerückt, während ein großer Lattenverschlag, der mit firnißgetränktem, dünnem Pergamentpapier überspannt war, das Licht so weit diffus gestaltete, daß störende Schatten abgeblendet und Glanz und Spiegelung ausreichend von den Glasscheiben entfernt wurden. Es galt vorerst, lediglich festzustellen, ob eine quantitative Ortsbestimmung nach den oben entwickelten Ideen möglich sei oder nicht. Der gespiegelte Vergleichspunkt blieb während einer und derselben Versuchsreihe in konstanter Entfernung von 50 cm, in einer weiteren Reihe in 75 cm Abstand, dann in 100 cm Distanz usw. vom Fixationspunkt aufgestellt, indes das Doppelbild so lange variiert wurde, bis die Distanz desselben vom Blickpunkt der jeweils eingestellten Vergleichsstrecke gleichkam. Das Doppelbild und nicht den Vergleichspunkt zu variieren, erwies sich für den Beobachter als die bequemste Vergleichsweise. Um aber dem Einwand zu begegnen, daß die Konstanz der Ergebnisse bestimmt worden sein könne von dem gedächtnismäßigen Merken des gegenseitigen Abstandes der Halbbilder voneinander oder der projektivischen Lage des Doppelbildes im Spalte, haben wir später — die Übung der Versuchspersonen war inzwischen weit vorgeschritten — am Doppelbilderapparat ständig die Vergleichsstrecke variiert. Es würde uns zu weit führen, von der gesamten Vorarbeit Rechenschaft abzulegen. Die ersten definitiven Ergebnisse einer quantitativen Ortsbestimmung der Doppelbilder gibt Tabelle I wieder.

Unsere experimentellen Untersuchungen erstreckten sich in ihrer Gesamtheit über einen Zeitraum von vier Semestern, vom Winter 1903

bis zum Sommer 1905. Außer den im Text genannten Versuchspersonen danken wir den Herren Dr. Fröbes, cand. phil. Ziembinsky, cand. phil. F. von Spitzbarth, und vor allem Herrn Professor Dr. W. Wirth für die fleißige Mitarbeit und rege Anteilnahme an dem Fortschritt unserer Untersuchung. Insonderheit ist es uns noch ein Bedürfnis, Herrn Geh. Rat Prof. Dr. W. Wundt für das Interesse, mit dem er den Fortgang unserer Arbeit begleitete, unseren Dank zu sagen.

Tabelle I.

Die Entfernung des Fixationspunktes vom Beobachter beträgt konstant 40 cm.

A: Variierte Distanz des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Fixationspunkte im Mittelwert (n Gleicheinstellungen).

B: Geschätzte Distanz der ungekreuzten Doppelbilder vom Fixationspunkt.

Vp. Herr Dr. Moore (Emmetropisches Auge).

$n = 30$

A:	16,2	20,8	26,0	35,5	46,0	55,8	66,2
B:	50,0	75,0	100,0	150,0	200,0	250,0	300,0

Vp. Herr Dr. Büchner (Emmetropisches Auge).

$n = 5$

A:	18,3	23,8	28,5	37,0	47,2	58,3	68,5
B:	50,0	75,0	100,0	150,0	200,0	250,0	300,0

Vp. Herr cand. phil. Kästner (Emmetropisches Auge).

$n = 15$

A:	15,0	18,8	23,3	33,5	44,8	55,7	65,0
B:	50,0	75,0	100,0	150,0	200,0	250,0	300,0

3. Kapitel.

Die exakte Ortsbestimmung für Doppelbilder am Apparat.

§ 10. Der Doppelbilderapparat.

T_{1-4} und t_{1-4} sind genau rechtwinklig zueinander stehende Tische, auf denen sich die Versuchsanordnung befindet. In der Längsrichtung eines jeden Tisches verläuft, auf einem starken Brett als Unterlage befestigt, je ein Vierkantholz von 3 m und 2 m Länge (V, v). Diese Vierkanthölzer, die durch beiderseitige, breite Nuten einen T-förmigen Querschnitt (v in Fig. 6) erhalten, sind mit einer Zentimeterskala

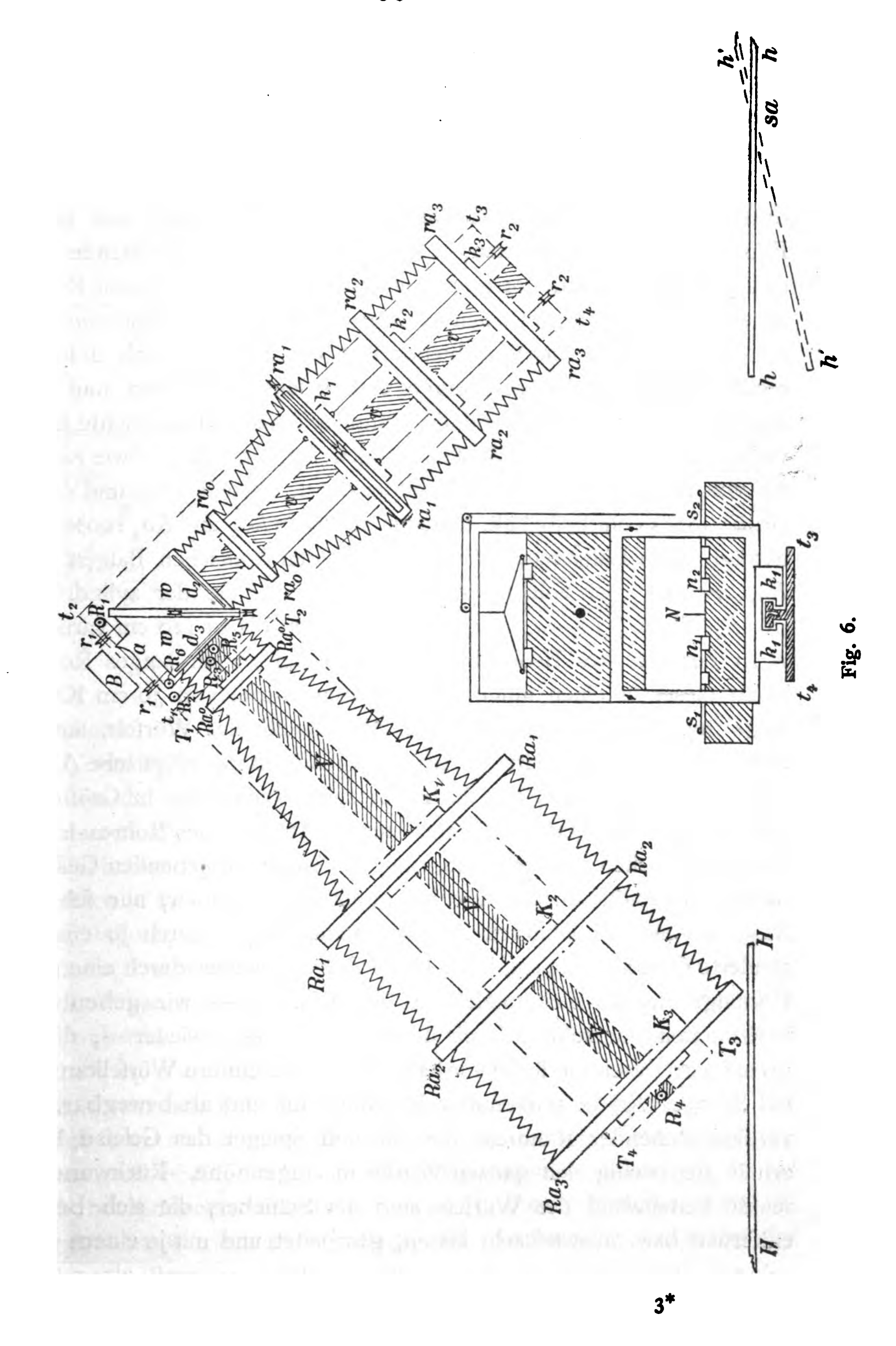


Fig. 6.

F_1 F_2 F_3

ausgestattet und bilden die Bahnen, auf denen die Holzrahmen Ra_0, Ra_1, Ra_2, Ra_3 und ra_0, ra_1, ra_2, ra_3 hin und her bewegt werden können mittels Holzklötzen (K_{1-4}, k_{1-4}), die auf der Unterseite einen dem Querschnitt von V und v konformen Ausschnitt tragen (k_1 in Fig. 6) und groß genug sind, um die Rahmen in senkrechter Stellung zu erhalten. Die Rahmen sind an den Seiten geschlitzt und für das Einschalten von Glasplatten, auf denen der zu beobachtende Punkt sich jeweils befindet, horizontal entsprechend genutet. Jeder Rahmen ist auswechselbar gegen einen oben geschlitzten und vertikal genuteten, für den Fall, daß die Verschiebbarkeit des Punktes nach links und rechts ersetzt werden soll durch eine solche nach oben und unten (Fig. 6). Untereinander sind die Rahmen durch optisch dichte Balgen verbunden, deren lichte Weite zwischen Ra_0 und Ra_1 sowie ra_0 und ra_1 von 18×20 cm zu 46×51 cm ansteigt, zwischen ra_1 und ra_2 die Größe 46×51 cm beibehält, dagegen zwischen Ra_1 und Ra_3 100×80 cm beträgt. Die Längenausdehnung der beiden konischen Balgen (Ra_0-Ra_1, ra_0-ra_1) ist von 20 cm bis zu 175 cm, die der zylindrischen (R_1-R_2, R_2-R_3, ra_1-ra_2, ra_2-ra_3) von 20 cm bis zu 120 cm variierbar. B ist der Sitz des Beobachters. Durch ein 10 cm langes Rohr (a) blickt dieser in einen innen geschwärzten Würfel von 30 cm Kantenlänge (w). Der Ausschnitt an der Vorderseite des Würfels, auf welchem das im Querschnitt um ein geringes größere, elliptische Ansatzrohr (a) aufgesetzt ist, hat die Form eines Rechteckes in Größe von 15×6 cm². Der dem Beobachter zugekehrte Teil des Rohres ist, um das Durchblicken zu erleichtern, den die Augen umgebenden Gesichtspartien angepaßt, ähnlich wie bei guten Stereoskopen, nur fehlt der Steg, welcher bei letzteren Apparaten die Augen durch je eine gesonderte Öffnung blicken läßt: beide Augen blicken durch eine große Öffnung. In der Diagonalebene des Würfels — wir geben einen horizontalen Querschnitt durch denselben in Fig. 7 wieder —, die begrenzt wird durch die linke vordere und rechte hintere Würfelkante, ist ein Spiegel (Sp) in senkrechter Richtung auf und ab bewegbar. Ein vertikal stehender Rahmen, der für den Spiegel das Geleise bildet, erhält gleichzeitig den ganzen Würfel in Augenhöhe. Rückwand und rechte Seitenwand des Würfels sind als Schieber, die sich bequem entfernen bzw. auswechseln lassen, gearbeitet und mit je einem rechteckigen Diaphragma (d_2, d_3) versehen, welches so groß als möglich

gewählt wurde derart, daß die Rahmen Ra_3 und ra_3 in ihrer größtmöglichen Entfernung dadurch eben noch verdeckt wurden. Zieht man den Spiegel in seinem Geleise in die Höhe, so blickt der Beobachter durch die Spaltöffnungen d_1 und d_2 nach dem Hintergrunde *h-h*; befindet sich der Spiegel dagegen unten, d. h. füllt er die Diagonalebene des Würfels aus, so erscheint der Spalt d_3 an Stelle von d_2, und die Blicklinien nehmen ihren Weg durch d_1 und d_3 nach

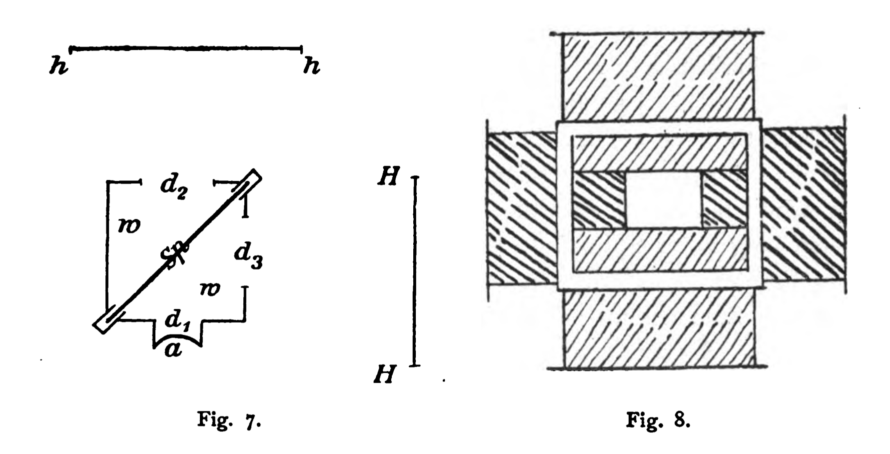


Fig. 7. Fig. 8.

dem Hintergrund *H-H*. Es ist zu ersehen, daß bei gleicher Größe von d_2 und d_3 für beide Spaltbilder leicht eine Lage gefunden werden kann, in der sie beim Auf- und Niederbewegen des Spiegels sich vollkommen decken und dann wechselsweise — in gleicher Entfernung vom Beobachter — an derselben Stelle im Raum füreinander substituiert erscheinen. Bei einer ganzen Gruppe von Versuchen mit hinter dem Fixationspunkt gelegenen Doppelbildern befand sich je ein zu fixierender Punkt auf einer Salinglasplatte im Diaphragma d_2 und d_3. Soll der Fixationspunkt in größere Ferne verlegt werden, so geschieht dies, während d_2 und d_3 aus dem Würfel entfernt werden, mittels der Rahmen Ra_0 und ra_0, welche mit dem Würfel durch je einen bis zu 40 cm ausziehbaren Balgen optisch dicht verbunden sind. Der Ausgleich der scheinbaren Größe bei zunehmender Entfernung wird durch einen in Ra_0 und ra_0 befestigten variabeln Spalt von der in Fig. 8 beschriebenen Form bewerkstelligt, der es gestattet, das Diaphragma um so viel zu vergrößern, als es durch die Änderung der

Entfernung verkleinert erscheint. Erheblichen Schwierigkeiten begegnete das Beginnen, unter Beibehaltung der Tageshelladaptation zwei vollkommen gleiche Hintergründe herzustellen. F_1, F_2, F_3 (vgl. S. 35) bezeichnen die nach Westen gerichteten Zimmerfenster des Instituts. *H-H* und *h-h* sind zwei große mit Leinwand überspannte Rahmen, die in gleicher Tiefe des Zimmers aufgestellt sind. Zwei objektiv gleiche Hintergründe erwiesen sich nun, durch das Instrument betrachtet, in bezug auf Helligkeit und Farbton verschieden. Einmal konnte, abgesehen von der Lichtabsorption durch den Spiegel, wegen der Kostbarkeit großer Glasscheiben, für die großen Rahmen Ra_2 und Ra_3 nicht das äußerst lichtdurchlässige Salinglas (Deckglas) verwendet werden wie für die kleineren Rahmen ra_1, ra_2, ra_3 und Ra_1. Für die größeren Rahmen gelangte zwar eine blasenfreie, aber immerhin schwach grünlich gefärbte Glassorte zur Verwendung, wie sie zur Herstellung guter Spiegel dient. Dies hatte zur Folge, daß sich zu dem Farbton des Hintergrundes *H-H* noch das Graugrün des Glases gesellte. Zum andern entstanden aber auch durch den wechselnden Stand der Sonne große Helligkeitsunterschiede. Es erwiesen sich deshalb die Morgen- und Mittagstunden als die für die Untersuchung günstigsten, während die Tagesstunden gemieden wurden, in denen der helle Sonnenschein auf den Fenstern auflag. Die Beobachtungen unterblieben ferner bei sehr trübem Wetter und an Tagen, wo die Helligkeit durch den Zug der Wolken großen Schwankungen unterlag. Die Farbe des Hintergrundes *H-H* war so gewählt, daß sie im Spiegel betrachtet hellbraun (etwa das Braun der gewöhnlichen Kartonpappe) erschien. Durch einen Maler von Beruf wurde dieser Farbton sorgfältig nachgemischt und der Hintergrund *h-h* damit überzogen. Alsdann wurde der Hintergrund *h-h* um eine senkrechte Achse (*sa*) drehbar gestaltet, und nun gestattete das Hinwenden nach dem Fenster F_3 bzw. das Abdrehen des Hintergrundes vom Lichte überaus feine Abstufungen der Helligkeit und ermöglichte so die Gleicheinstellung zu jeder Stunde der Versuchszeit.

Es soll zuletzt nicht unerwähnt bleiben, daß der Doppelbilderapparat auch die Möglichkeit der Selbsteinstellung gewährt. Durch den über die Rollen R_1, R_2 bis R_6 laufenden Fadenzug kann ein etwa im Rahmen Ra_1 befindlicher Punkt vom Beobachter in beliebiger Distanz entfernt oder ihm angenähert werden, während der Standort

von ra_1 durch den Doppelfaden r_1r_1-r_2r_2, welcher unter dem Tisch über die in der Zeichnung nicht sichtbaren Rollen r_3r_3 und r_4r_4 nach r_1r_1 zurückkehrt, vom Platze des Beobachters aus beliebig variiert werden kann. Es bot das die Annehmlichkeit, daß der Versuchsleiter, unabhängig von einem Gehilfen, auch für sich allein am Apparat arbeiten konnte. Ein ausgiebiger Gebrauch der Selbsteinstellung ist indes für die exakten Untersuchungen nicht gemacht worden, weil der Hände Bewegung nicht nur die Konzentration der Aufmerksamkeit störte (der Beobachter hat ja auch noch den Spiegel zu dirigieren), sondern auch der Ortswechsel der Glasplatte, der immerhin großen Last des Rahmens zufolge, zu langsam erfolgte. Es erwies sich als weit vorteilhafter, wenn ein Gehilfe den Distanzwechsel rasch und geräuschlos vollzog.

In Fig. 6 (S. 35) endlich ist noch die Vorrichtung dargestellt, die dazu diente, um den gegenseitigen Abstand der Halbbilder eines Doppelbildes in der Tiefe des in Doppelbilder zerfällten Objektes zu messen. In den horizontal genuteten Rahmen wird ein Zinkblechstreifen eingeschaltet, der in seiner Höhe bis nahezu an die horizontale Visierebene heranreicht. An Stelle des in ein Doppelbild zerfällten Punktes, der inzwischen entfernt wird, befindet sich eine vertikal stehende, starke Nadel (N). Zu beiden Seiten davon ragen über die beweglichen Schieber s_1 und s_2 die zueinander parallel stehenden Spitzen zweier Nähnadeln hervor, die mit der Schiebvorrichtung starr verbunden sind (n_1, n_2). Zerfällt man, durch Fixation eines davor oder dahinter gelegenen Punktes, N in ein Doppelbild, so erscheint gleichzeitig innerhalb des Doppelbildes von N je ein Halbbild der Doppelbilder von n_1 und n_2, die mittels der Schiebvorrichtung zur Deckung gebracht werden können. Die objektive Distanz zwischen n_1 und n_2 gibt dann unmittelbar für die Entfernung der Nadel N vom Beobachter die Größe der Lateraldistanz (Äquivalentstrecke des Gesichtswinkels der Disparation) der beiden Halbbilder des Doppelbildes von N an. Um bei der Messung dem störenden Einfluß negativer Nachbilder zu entgehen — es geschieht nämlich oft, daß bei der Annäherung der zur Deckung zu bringenden Halbbilder das eine davon plötzlich verschwindet, um erst nach geraumer Zeit wieder aufzutauchen —, kann man es so einrichten, daß die Spitzen der Nadeln n_1 und n_2 mit dem Fixationspunkt in gleicher Höhe liegen. Vorerst unabhängig von der

zu erzielenden Deckung wird nun erst das eine, dann das andere Nadelhalbbild so weit in die Medianebene hereingerückt, bis der Fixationspunkt auf der Spitze des Nadelhalbbildes genau aufzusitzen scheint. Ist das erreicht, so kehrt man das Gesicht vom Apparat einen Augenblick weg. Blickt man darauf wieder in den Apparat, so muß jetzt, wenn die Einstellung ausreichend genau sein soll, die Nadel haarscharf stereoskopisch einfach gesehen werden.

§ 11. Qualitative Ortsbestimmung für ungekreuzte Doppelbilder am Apparat.

Im Spalte d_2, 40 cm vom Beobachter entfernt, befindet sich der Fixationspunkt (1 mm Durchmesser) F_1 in ra_2, etwa 1 m hinter dem Fixationspunkt der in Doppelbilder zerfällte Punkt P (16 mm Durchmesser). Beide Punkte liegen auf der horizontalen Orientierungslinie. Der Spalt rechts seitwärts am Würfel (d_3) ist geschlossen; der Spiegel ist aus dem Sehfeld entfernt.

1. Ein Vergleich der Halbbilder ($P_1 P_2$) des Doppelbildes von P mit dem Eindruck, den man von P bei direkter Fixation hat, ergibt folgenden Unterschied: Die Halbbilder erscheinen relativ (Bildgröße im Verhältnis zum gesamten Sehfelde) sehr viel verkleinert, absolut (gedachte Objektgröße) sehr viel vergrößert; die Konturen sind überaus verwaschen, und das Schwarz des einfach gesehenen Punktes hat in den Halbbildern unter dem Einfluß der binokularen Mischung einem Hellgrau Platz gemacht. Entfernt man P noch weiter vom Fixationspunkt, so erscheinen die Halbbilder fast kugelig: ein schwarzer Kern in der Mitte ist umgeben von einer dunstigen Hülle.

2. Auf die an die Versuchsperson gerichtete Frage nach der Tiefenlokalisation des Doppelbildes verlautete die Antwort: »Wenn ich nicht wüßte, daß dort (Zimmerwand) das Zimmer zu Ende wäre, so würde ich sagen, das Doppelbild stehe ganz am Ende des Nachbarzimmers; in Metern geschätzt, können es 10 oder auch 20 m sein; jedenfalls stehen die Halbbilder sehr, sehr weit weg«.

3. Der Tiefenunterschied zwischen dem direkt einfach und alsdann indirekt doppelt gesehenen Punkt P kommt sehr deutlich zum Bewußtsein bei einem raschen Fixationswechsel zwischen P und F: das von P entstehende Doppelbild fliegt dann förmlich in die Ferne.

4. Erfährt ra_2 durch den Versuchsleiter eine Distanzveränderung zum Beobachter von 5—10 cm, so schätzt die Versuchsperson die dadurch bedingte Lageveränderung des Doppelbildes auf etwa 50 cm.

5. Bewegt man die in ra_2 als Objektträger fungierende Glasplatte in vertikaler Richtung auf und ab, so beschreibt das Doppelbild von *P* in Hinsicht der Tiefenlokalisation eine Parabel in dem Sinne, daß das Doppelbild in der horizontalen Visierebene liegend in größter Ferne erscheint und sich dem Beobachter nähert für den Fall, daß es darüber oder darunter liegt. — Achtet man dabei auf die Lateraldistanz der Halbbilder (gegenseitiger Abstand derselben voneinander), so ist diese am größten in der horizontalen Visierebene und wird kleiner nach unten und oben, d. h. während oben gedachter Bewegung beschreiben die Halbbilder gleichzeitig seitlich gekrümmte Bahnen.

6. Befestigt man in ra_2 etwa 1,5 cm senkrecht über oder unter *P* einen zweiten Punkt von gleicher Größe, dann ergibt sich für die außerhalb der Visierebene befindlichen Doppelbilder ein deutliches Näherstehen, welches in seinem Gefolge eine scheinbare Verkleinerung, Verschärfung der Konturen und deutliche Zunahme der Intensität dieser Doppelbilder aufzeigt (sie erscheinen schwärzer; schließt man die Augen, so sind ihre Nachbilder entsprechend heller).

7. Während der Fixationspunkt seine Lage auf der horizontalen Orientierungslinie beibehält, wird der in Doppelbilder zu zerfällende Punkt etwa 2 cm über der horizontalen Visierebene befestigt und so weit nach rechts oder links seitwärts horizontal verschoben, daß eines seiner Halbbilder für den Beobachter über den Fixationspunkt in die Medianebene zu liegen kommt. Der Tiefenunterschied zwischen den Halbbildern des Doppelbildes ist jetzt auffällig. Das äußere, also außerhalb der Medianebene befindliche Halbbild steht um vieles näher und zeigt als Begleiterscheinung scheinbare Verkleinerung, intensivere Schwarzfärbung und Verschärfung der Konturen.

8. Die Punkte *F* und *P* liegen wieder beide auf der horizontalen Orientierungslinie. Die Halbbilder des dadurch entstehenden doppelseitigen, symmetrisch zur Medianebene gelegenen Doppelbildes erscheinen in ungleichen Abständen vom Beobachter, wenn

a) die dioptrischen Verhältnisse in den beiden Augen der Versuchsperson verschiedene sind (verschiedener Grad von Myopie usw.) und ohne Augenkorrektur beobachtet wird;

b) bei korrigierter Dioptrik anderweitige Unterschiede zwischen den beiden Augen bestehen, die darum aber noch keine Dislokation des Orientierungspunktes zur Folge haben;

c) die binokulare Lokalisation gestört ist durch eine anormale Lage des Orientierungspunktes.

9. Zeitweise Tiefenunterschiede zwischen den Halbbildern von symmetrisch zur Medianebene gelegenen doppelseitigen Doppelbildern ergeben sich

a) bei partieller Inversion (siehe unten),

b) bei ungleicher Adaptation der beiden Augen für hell und dunkel man überdecke ein Auge einige Zeit mit der Hand und blicke dann (in den Apparat),

c) bei Beeinflussung der Akkommodation des einen Auges durch ein schwaches Mydriatikum (Homathropin).

10. Die Halbbilder aller einseitigen Doppelbilder zeigen ständig ungleiche Abstände vom Beobachter in dem Sinne, daß das äußere jeweils immer als das nähere empfunden wird.

§ 12. Quantitative Ortsbestimmung für symmetrisch zur Medianebene gelegene ungekreuzte Doppelbilder.

Die in d_2 und d_3 befindlichen Diaphragmen sind mit einer Salinglasplatte verschlossen und tragen in ihrer Mitte je einen Fixationspunkt (f, F) von gleicher Größe (1—1,5 mm Durchmesser); für größere Ferne werden die Spaltbilder mit Fixationspunkt in Ra_0 und ra_0 angebracht. Der in ein Doppelbild zerfällte Punkt p (16 mm Durchmesser) befindet sich je nach der zu beurteilenden Distanz in ra_2 oder ra_3. Ein zum Vergleich dienender Punkt P (24 mm Durchmesser) ist in Ra_2 befestigt. Die Zentren aller Punkte liegen auf der horizontalen Orientierungslinie. Die Spaltgröße beträgt für

39 cm	Entfernung	vom	Beobachter	4,5 × 6,2 cm
49 »	»	»	»	6,6 × 9,0 »
59 »	»	»	»	8,6 × 11,9 »

Vor Beginn des Versuchs werden durch Auf- und Niederziehen des Spiegels die beiden Hintergründe auf subjektive Gleichheit eingestellt und die Diaphragmen in d_2 und d_3 samt den in ihrer Mitte befindlichen Fixationspunkten f und F sorgfältig zur Deckung gebracht.

Zur Versuchsmethode vergleiche das oben S. 28f. Gesagte.

Einübung der Versuchspersonen. Blickt man zum erstenmal in den Apparat, so ist die Lokalisation der jeweils darin sichtbaren Punkte eine ziemlich unsichere. Ein frei in der Luft schwebender Punkt ist ein durchaus ungewohnter Eindruck. Man neigt deshalb anfangs dazu, den Punkt auf den Hintergrund zu verlegen. Von dieser Täuschung wird man jedoch augenblicklich frei, wenn ein Gegenstand, dessen Größe und Aussehen bekannt ist (etwa die Hand des Versuchsleiters) zwischen der Endöffnung der Balgen und den Hintergrund gehalten wird: der Punkt schwebt dann wirklich frei in der Luft. Für die ersten Übungsversuche blieb deshalb zweckmäßig ein dem Beobachter bekannter Gegenstand dauernd zwischen Punkt und Hintergrund aufgestellt.

Die weitere Übung der Versuchspersonen zielte ab auf Elimination der »Spaltwirkung« oder »Fenstertäuschung«, die eine durchgängige Überschätzung der Tiefendistanzen zur Folge hat. Der Beobachter soll eine möglichst deutliche, der Wirklichkeit entsprechende Vorstellung von der Entfernung des Punktes P bekommen. Er nimmt deshalb von der Größe des Punktes P an Ort und Stelle Kenntnis dadurch, daß er hingeht und ihn ansieht, oder man gibt ihm einen gleich großen Punkt zum Vergleich in die Hand. Die Tiefendistanz wird ferner vom Versuchsleiter in cm angegeben oder durch eine Meßlatte auf dem Fußboden markiert. Der Rahmen, in dem sich die Glasplatte mit dem Punkte befindet, wird äußerlich irgendwie für den Beobachter gekennzeichnet. Bei kleinen Distanzen faßt die Versuchsperson wohl auch mit der Hand danach, während größere Distanzen abgeschritten oder mit ausgespreizten Armen ausgemessen werden. Es konnte jedenfalls konstatiert werden, daß die Sicherheit in der räumlichen Auffassung der in der Luft schwebenden Punkte von Tag zu Tag zunimmt. Sollte aber ein Rest von der in Rede stehenden Spaltwirkung noch vorhanden gewesen sein, so wird dieser Fehler überaus herabgesetzt durch den Umstand, daß diese Täuschung dann nicht nur für die gespiegelte Strecke, sondern auch für die damit verglichene, direkt gesehene besteht.

Für die exakten Versuche bedurfte es nur einer kurzen Zeit der Übung, um den Aufzug des Spiegels mit dem Moment des Fixationswechsels zusammenfallen zu lassen. Die falsche Handhabung des

Tabelle II.

Quantitative Ortsbestimmung für ungekreuzte Doppelbilder.

Vp.: Herr Dr. Reuther.

Myopie: L. — 1,25 D; R. — 1,50 D.

Basaldistanz: 67,0 mm.

1. Entfernung des Fixationspunktes vom Beobachter.	39,0						49,0					59,0				
2. Entfernung des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Beobachter.	54,0	64,0	74,0	84,0	94,0	104,0	74,0	84,0	94,0	104,0	114,0	84,0	94,0	104,0	114,0	124,0
3. Distanz des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Fixationspunkt.	15,0	25,0	35,0	45,0	55,0	65,0	25,0	35,0	45,0	55,0	65,0	25,0	35,0	45,0	55,0	65,0
4. Geschätzte Distanz der Doppelbilder vom Fixationspunkt.	37,0	87,0	137,0	186,0	237,0	286,0	78,0	126,0	177,0	228,0	277,0	68,0	117,0	167,0	217,0	265,0
	37,5	88,0	136,0	188,0	235,0	289,0	77,0	126,0	177,0	225,0	280,0	66,5	118,0	167,0	218,0	269,0
	38,0	89,0	136,0	184,0	235,0	285,0	79,0	128,0	177,0	226,0	276,0	67,0	115,0	168,0	219,0	266,0
	36,5	88,0	137,0	186,0	238,0	290,5	78,0	127,0	176,0	229,0	275,0	66,0	117,0	165,0	219,0	268,0
	37,0	86,0	137,5	186,5	238,5	287,0	77,0	126,0	176,5	228,0	278,0	67,0	118,0	166,0	215,0	268,0
5. Mittelwert.	37,1	87,6	136,7	186,3	236,7	287,4	77,6	126,6	176,7	227,2	277,2	66,9	117,0	166,6	217,6	267,2
6. Mittlere quadr. Abweichung der Einzeleinstellungen vom Mittelwert.	±0,5	±1,0	±0,6	±1,3	±1,5	±1,9	±0,8	±0,8	±1,0	±1,5	±1,6	±0,7	±1,7	±1,0	±1,5	±1,5
7. Absoluter Schätzungsfehler.	22,1	62,6	101,7	141,3	181,7	222,4	52,6	91,6	131,7	172,2	212,2	41,9	82,0	121,6	162,6	202,2

8. Relativer Schätzungsfehler, bezogen auf die Distanz des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Fixationspunkt.	1,47	2,53	2,90	3,14	3,30	3,42	2,10	2,62	2,93	3,13	3,27	1,60	2,34	2,70	2,95	3,11
9. Streckenäquivalent des Gesichtswinkels der Disparation, gemessen in der Tiefe des in Doppelbilder zerfällten Objektes.	—	4,34	5,86	7,53	9,37	11,04	3,24	4,80	6,23	7,02	8,75	2,84	4,07	5,01	6,18	7,35
10. Aus diesem Streckenäquivalent berechneter Gesichtswinkel der Disparation.	—	3°50′	4°18′	5°25′	5°48′	6°14′	2°46′	3°16′	3°42′	4°32′	4°32′	1°56′	2°22′	2°52′	3°10′	3°24′
11. Aus der Basaldistanz berechneter Gesichtswinkel der Disparation.	2°44′	3°50′	4°38′	5°16′	5°44′	6°08′	2°38′	3°16′	3°44′	4°08′	4°28′	1°56′	2°26′	2°48′	3°08′	3°24′
12. Scheinbare absolute Entfernung der Halbbilder von einander. (Gleichung mit einer direkt fixierten Querdistanz in einer der Täuschung gleichen wirklichen Tiefe.)	—	10,3	17,2	23,2	28,1	36,1										
13. Wirkliche Punktgröße bei der Abbildung dieser Halbbildentfernung.	—	3,5	4,0	4,0	4,5	4,5										

Tabelle III.

Quantitative Ortsbestimmung für ungekreuzte Doppelbilder.

Vp.: Herr cand. phil. Hoffmann.

Emmetropisches Auge.

Basaldistanz: 66,7 mm.

1. Entfernung des Fixationspunktes vom Beobachter.	39,0						49,0					59,0				
2. Entfernung des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Beobachter.	54,0	64,0	74,0	84,0	94,0	104,0	74,0	84,0	94,0	104,0	114,0	84,0	94,0	104,0	114,0	124,0
3. Distanz des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Fixationspunkt.	15,0	25,0	35,0	45,0	55,0	65,0	25,0	35,0	45,0	55,0	65,0	25,0	35,0	45,0	55,0	65,0
4. Geschätzte Distanz der Doppelbilder vom Fixationspunkt.	38,0	88,0	135,0	187,0	234,0	286,0	77,0	128,5	177,0	224,5	279,0	66,5	115,5	166,5	218,0	264,0
	36,0	87,0	137,0	186,0	236,0	284,5	78,5	128,0	176,0	229,5	275,0	67,5	117,5	165,5	214,0	263,0
	39,0	90,0	138,0	185,0	237,0	288,0	76,5	127,0	175,0	226,5	278,0	69,0	120,0	168,5	219,0	262,0
	40,0	89,0	138,5	187,0	235,5	285,0	79,0	130,0	176,5	225,5	273,0	68,0	118,0	168,0	215,5	266,0
	38,0	89,0	137,5	186,0	237,0	284,0	78,5	128,0	174,0	227,0	275,0	68,5	117,5	165,5	215,5	265,0
5. Mittelwert.	38,2	88,6	137,2	186,2	235,9	285,5	77,9	128,3	175,7	226,6	276,0	67,9	117,7	166,8	216,4	264,0

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	C5
6. Mittlere quadratische Abweichung der Einzeleinstellungen vom Mittelwert.	± 1,3	± 0,8	± 1,2	± 0,8	± 1,1	± 1,4	± 1,0	± 1,0	± 1,1	± 1,7	± 2,2	± 0,7	± 1,4	± 1,3	± 1,8	± 1,4
7. Absoluter Schätzungsfehler.	23,2	63,6	102,2	141,3	180,9	220,5	52,9	93,3	130,7	171,6	211,0	42,9	82,7	121,8	161,4	199,0
8. Relativer Schätzungsfehler, bezogen auf die Distanz des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Fixationspunkt.	1,48	2,54	2,92	3,14	3,29	3,39	2,11	2,66	2,90	3,12	3,24	1,72	2,36	2,71	2,93	3,06
9. Streckenäquivalent des Gesichtswinkels der Disparation gemessen in der Tiefe des in Doppelbilder zerfällten Objektes.	—	4,35	5,83	7,59	9,30	11,00	3,50	4,78	6,12	7,20	8,80	2,90	4,00	5,12	6,12	7,30
10. Aus diesem Streckenäquivalent berechneter Gesichtswinkel der Disparation.	—	3°48′	4°30′	5°08′	5°38′	6°02′	2°42′	3°14′	3°44′	3°58′	4°24′	1°58′	2°26′	2°52′	3°04′	3°22′
11. Aus der Basaldistanz berechneter Gesichtswinkel der Disparation.	2°42′	3°48′	4°36′	5°12′	5°42′	6°06′	2°38′	3°14′	3°44′	4°08′	4°26′	1°54′	2°24′	2°48′	3°06′	3°24

Tabelle IV.

§ 13. Der Grenzfall zwischen einseitigen und doppelseitigen Doppelbildern.

Vp.: Herr Dr. Reuther.

						Mittelwert:
1. Entfernung des Fixationspunktes vom Beobachter.	39,0					
2. Entfernung des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Beobachter.	64,0					
3. Distanz des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Fixationspunkt.	25,0					
4. Geschätzte Distanz des doppelseitigen Doppelbildes bei symmetrischer Lage zur Medianebene.	83,5	83,0	82,0	84,0	83,0	83,1
5. Geschätzte Distanz der Halbbilder bei asymmetrischer Lage zur Medianebene. Das in Doppelbilder zerfällte Objekt befindet sich:						
a) Links seitwärts v. d. M. (rechtes Halbbild über dem Fixationspunkt)						
α) Geschätzte Distanz des linken Halbbildes vom Fixationspunkt:	67,5	68,5	68,0	66,0	69,0	67,8
β) Geschätzte Distanz des rechten Halbbildes vom Fixationspunkt:	87,0	86,0	86,0	87,0	86,0	86,4
b) Rechts seitwärts v. d. M. (linkes Halbbild über dem Fixationspunkt)						
α) Geschätzte Distanz des linken Halbbildes vom Fixationspunkt:	85,5	86,0	87,0	88,5	87,5	86,9
β) Geschätzte Distanz des rechten Halbbildes vom Fixationspunkt:	66,0	69,0	66,5	65,5	67,0	67,0

Spiegels zeigt sich in dem gleichzeitigen Doppeltsehen des fixierten und des davor oder dahinter gelegenen Punktes.

Wie oben bereits bemerkt wurde, ist es dem Beobachter gestattet, zur Erlangung eines sicheren Urteils den Eindruck, so oft und solange er nur mag, auf sich einwirken zu lassen; die individuellen Abweichungen in der Ausnützung dieser Freiheit waren denn auch sehr große.

§ 14. Ergebnisse.

1. Die Doppelbilder haben ihren scheinbaren Ort weder in der Tiefe des Fixationspunktes noch in der Ferne des in Doppelbilder zerfällten Objektes.

2. Ungekreuzte Doppelbilder werden durchgängig in weit größere Entfernung verlegt als das bezügliche stereoskopisch einfach gesehene Objekt.

3. Die Tiefentäuschung beherrscht die Vorstellung in solchem Maße, daß auch der Abstand beider Halbbilder des Doppelbildes und die Größe des Doppelbildobjektes approximativ entsprechend größer gedacht werden.

4. Bei konstanter Entfernung des Fixationspunktes vom Beobachter nimmt der absolute Schätzungsfehler zu mit der Größe des Abstandes des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Blickpunkt; bei konstanter Entfernung des in Doppelbilder zerfällten Objektes nimmt der absolute Schätzungsfehler ab mit zunehmender Ferne des Fixationspunktes vom Beobachter.

5. Im Grenzfalle von einseitigen und doppelseitigen ungekreuzten Doppelbildern steht das jeweils außerhalb der Medianebene befindliche Halbbild in scheinbar größerer Nähe. Die Differenz des Abstandes der Halbbilder des Doppelbildes vom Beobachter ist von solcher Konstanz, daß sie quantitativ bestimmbar ist (Tabelle IV).

6. Ein Vergleich der Tabelle IV, 4 mit Tabelle II, 5 (2. Kolonne) ergibt auch für außerhalb der horizontalen Visierebene gelegene Doppelbilder ein deutliches, scheinbares Näherstehen.

§ 15. Qualitative Ortsbestimmung für gekreuzte Doppelbilder am Apparat.

In ra_3, 2 m vom Beobachter entfernt, befindet sich ein Fixationspunkt von 4 mm Durchmesser (F), in ra_1, etwa 1 m vom Beobachter entfernt, der in ein Doppelbild zerfällte Punkt P (16 mm Durchmesser). Beide Punkte liegen in der horizontalen Orientierungslinie.

1. Ein Vergleich der Halbbilder ($P_1 P_2$) des Doppelbildes von P mit dem Eindruck, den man von P bei direkter Fixation hat, ergibt zwar ebenfalls Unterschiede, aber bei weitem nicht so sinnenfällige wie die bei ungekreuzten Doppelbildern beobachteten: die Halbbilder erscheinen merklich vergrößert, zeigen verschwommenere Umrisse, weichen aber in bezug auf ihre Intensitätsverhältnisse und die Helligkeitsverteilung innerhalb der Fläche des Fleckes nur ganz gering von P ab.

2. Der rasche Übergang vom direkten Einfachsehen zum indirekten Doppeltsehen des Punktes P läßt gleichfalls Änderungen in der Tiefenlokalisation erkennen: das Doppelbild rückt in größere Ferne.

3. Erfährt ra_1 durch den Versuchsleiter eine Distanzveränderung nach dem Beobachter hin oder von diesem weg, so wird die Größe derselben von der Versuchsperson an der dadurch bedingten Lageveränderung des Doppelbildes annähernd richtig geschätzt.

4. Gekreuzte Doppelbilder, die von Objekten herrühren, die unter oder über der horizontalen Visierebene ihren Ort haben, erscheinen näher als solche, die in der horizontalen Visierebene selbst liegen. Begleiterscheinungen für die näherstehenden Doppelbilder sind: scheinbare Verkleinerung, intensivere Schwarzfärbung, schärfere Konturen und scheinbar geringere Lateraldistanz der Halbbilder.

5. Im Grenzfalle von einseitigen und doppelseitigen gekreuzten Doppelbildern steht das außerhalb der Medianebene liegende Halbbild dem Beobachter näher als das in derselben befindliche. Das näherstehende Halbbild ist scheinbar kleiner, schwärzer (Nachbild heller) und von schärferer Kontur.

Die oben für ungekreuzte Doppelbilder veranstalteten Versuche S. 41f.: Nr. 5, 8, 9 und 10 fallen für gekreuzte Doppelbilder in gleichem Sinne aus.

§ 16. **Quantitative Ortsbestimmung für symmetrisch zur Medianebene gelegene gekreuzte Doppelbilder.**

In ra_3 befindet sich der Fixationspunkt (4 mm Durchmesser) in ra_1, auf einer in vertikaler Richtung beweglichen Glasplatte der in ein Doppelbild zu zerfällende Punkt p (16 mm Durchmesser) und in Ra_2 der zum Vergleich dienende Punkt P (24 mm Durchmesser). Alle Punkte liegen in der horizontalen Orientierungslinie.

Versuchsmethode: Durch einen Fadenzug (vgl. Fig. 6) wird die den Punkt p tragende Glastafel so weit emporgezogen, daß p aus dem Sehfeld verschwindet. Das Glas ist von solcher Größe, daß dabei der untere Rand desselben für den Beobachter unsichtbar bleibt. Man stellt nun die Gesichtslinien auf den Blickpunkt F in ra_3 ein und läßt alsdann p herabfallen. Ist die Glasscheibe in ihrer Ruhelage angelangt, dann befindet sich das Doppelbild von p in der horizontalen Visierebene. Hat der Beobachter einen deutlichen Eindruck vom Orte des Doppelbildes erlangt, so versucht er es durch direkte Fixation von p zum Verschwinden zu bringen, wobei er gleichzeitig den Spiegel herabfallen läßt. Für das Doppelbild von p wird dadurch der binokular einfach gesehene Vergleichspunkt P substituiert. Es soll alsbald eine Entscheidung getroffen werden: Was steht näher, das Doppelbild oder der Vergleichspunkt? Die Urteile werden auf den in seiner Tiefe variabeln Vergleichspunkt bezogen und mit »Zu nahe!«, »Zu weit!«, »Gut!« bezeichnet. Diese Gleicheinstellungen sind durch das Gefühl großer Sicherheit ausgezeichnet. Über die Entfernung des Fixationspunktes F darf bei diesen Versuchen keinerlei Täuschung bestehen; jede vorgenommene Änderung desselben wird dem Beobachter angezeigt. Einigen Versuchspersonen diente es zu großer Bequemlichkeit, daß sie davon abstrahieren konnten, wenn sie den Punkt p gelegentlich einfach sahen; die vertikal bewegliche Glasplatte brauchte dann nicht aufgezogen zu werden, sondern blieb ständig an ihrem Ort.

§ 17. **Ergebnisse.**

Die Gesetzmäßigkeiten, nach denen die Tiefenlokalisation von Doppelbildern verläuft, erweisen sich für gekreuzte Doppelbilder im allgemeinen als komplizierter. Es ergibt sich zunächst ein Unterschied

Tabelle V.

Quantitative Ortsbestimmung für gekreuzte Doppelbilder.

Vp.: Herr Dr. Reuther.

1. Entfernung des Fixationspunktes vom Beobachter.	189,0							169,0						149,0			
2. Distanz des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Beobachter.	61,0	71,0	81,0	91,0	101,0	111,0	121,0	61,0	71,0	81,0	91,0	101,0	111,0	61,0	71,0	81,0	91,0
3. Geschätzte Distanz der Doppelbilder vom Beobachter.	84,0	97,5	107,5	119,5	128,5	136,5	146,5	79,5	90,5	102,5	110,5	121,5	128,5	72,0	81,0	91,5	101,0
	86,0	95,5	106,5	116,5	126,5	135,5	144,5	80,5	90,5	101,5	110,5	120,5	131,5	71,5	82,0	92,0	101,0
	84,5	96,5	106,5	117,5	125,5	137,0	147,5	79,0	91,5	101,5	110,5	122,5	130,5	71,5	81,5	92,0	101,5
	85,5	96,5	107,5	116,5	125,5	136,5	145,5	80,5	91,0	99,5	111,5	120,5	130,5	71,5	82,0	91,5	101,5
	86,5	96,0	106,5	117,5	126,0	136,5	147,0	80,0	91,0	101,5	111,0	121,0	130,0	72,5	81,5	92,0	100,5
4. Mittelwert.	85,3	96,4	106,8	117,4	126,4	136,4	146,2	79,9	90,9	101,3	110,8	121,8	130,2	71,0	81,6	91,8	101,1
5. Mittlere quadr. Abweichung der Einzeleinstellungen vom Mittelwert.	±0,9	±0,7	±0,7	±1,1	±1,1	±0,5	±1,1	±0,6	±0,4	±1,0	±0,4	±1,0	±1,0	±0,4	±0,4	±0,3	±0,4

6. Absolut. Schätzungsfehler.	24,3	25,4	25,8	26,4	25,4	25,4	25,2	18,9	19,9	20,3	19,8	20,2	19,2	10,8	10,6	10,8	10,1
7. Relativer Schätzungsfehler, bezogen auf die Distanz des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Beobachter.	0,39	0,36	0,32	0,29	0,25	0,23	0,21	0,31	0,27	0,25	0,22	0,20	0,17	0,18	0,15	0,13	0,11
8. Äquivalentstrecke des Gesichtswinkels der Disparation, gemessen in der Tiefe des in Doppelbilder zerfällten Objektes.	4,35	4,01	3,57	3,34	2,91	2,53	2,23	4,03	3,65	3,24	2,81	2,41	1,95	3,66	3,24	2,80	2,33
9. Aus diesem Streckenäquivalent berechneter Gesichtswinkel der Disparation.	4°06′	3°14′	2°32′	2°06′	1°40′	1°18′	1°04′	3°50′	2°58′	2°20′	1°48′	1°24′	1°02′	3°26′	2°36′	1°58′	1°26′
10. Aus der Basaldistanz berechneter Gesichtswinkel der Disparation.	4°18′	3°24′	2°44′	2°12′	1°48′	1°28′	1°10′	4°02′	3°08′	2°28′	2°56′	1°32′	1°12′	3°44′	2°50′	2°10′	1°38′

Tabelle VI.

Quantitative Ortsbestimmung für gekreuzte Doppelbilder.

Vp.: Herr cand. phil. Hoffmann.

1. Entfernung des Fixationspunktes vom Beobachter.	189,0							169,0						149,0			
2. Entfernung des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Beobachter.	61,0	71,0	81,0	91,0	101,0	111,0	121,0	61,0	71,0	81,0	91,0	101,0	111,0	61,0	71,0	81,0	91,0
3. Geschätzte Distanz der Doppelbilder vom Beobachter.	86,0	98,5	109,0	118,0	129,5	138,5	149,5	79,5	90,5	100,5	110,5	120,0	131,0	71,5	81,0	92,5	100,5
	87,5	98,0	109,0	117,5	127,5	137,5	146,5	79,0	91,5	101,5	112,0	120,5	131,5	72,5	81,5	90,5	102,0
	86,5	97,5	108,0	118,0	127,5	138,5	148,0	79,5	91,0	101,0	111,5	120,5	131,5	72,0	82,0	91,5	101,0
	85,5	97,0	108,0	117,0	127,0	138,0	147,0	80,0	90,0	100,5	111,5	121,5	130,0	71,5	80,5	90,5	100,5
	86,5	96,5	107,0	117,0	128,0	135,5	147,0	79,5	90,5	101,0	110,5	120,5	132,0	71,5	81,5	91,5	101,5
4. Mittelwert.	86,4	97,5	108,2	117,5	127,9	137,6	147,7	79,5	90,7	100,9	111,1	120,6	131,2	71,8	81,3	91,3	101,2
5. Mittlere quadr. Abweichung der Einzeleinstellungen vom Mittelwert.	±0,7	±0,7	±0,8	±0,5	±0,9	±1,2	±1,1	±0,5	±0,5	±0,3	±0,6	±0,5	±0,7	±0,4	±0,5	±0,8	±0,6

6. Absolut. Schätzungsfehler.	25,4	26,5	27,2	26,5	26,9	26,6	26,7	18,5	19,7	19,9	20,1	19,6	20,2	10,8	10,3	10,3	10,2
7. Relativer Schätzungsfehler, bezogen auf die Distanz des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Beobachter.	0,42	0,37	0,33	0,29	0,27	0,24	0,23	0,30	0,28	0,25	0,22	0,19	0,18	0,17	0,14	0,13	0,11
8. Äquivalentstrecke des Gesichtswinkels der Disparation, gemessen in der Tiefe des in Doppelbilder zerfällten Objektes.	4,33	4,00	3,53	3,20	2,85	2,45	2,15	4,00	3,65	3,20	2,85	2,39	2,00	3,62	3,18	2,77	2,30
9. Aus diesem Streckenäquivalent berechneter Gesichtswinkel der Disparation.	4°04′	3°12′	2°28′	2°00′	1°36′	1°16′	1°02′	3°46′	2°56′	2°14′	1°48′	1°20′	1°02′	3°24′	2°34′	1°56′	1°26′
10. Aus der Basaldistanz berechneter Gesichtswinkel der Disparation.	4°14′	3°20′	2°40′	2°10′	1°44′	1°24′	1°08′	4°00′	3°06′	2°26′	1°56′	1°30′	1°10′	3°42′	2°48′	2°08′	1°38′

Tabelle VII.

Quantitative Ortsbestimmung für gekreuzte Doppelbilder.

	Vp.: Herr cand. phil. Hoffmann.								Vp.: Herr Dr. R.			
1. Entfernung des Fixationspunktes vom Beobachter.	129,0				109,0			89,0	109,0			89,0
2. Distanz des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Beobachter	61,0	71,0	81,0	91,0	61,0	71,0	81,0	61,0	61,0	71,0	81,0	61,0
3. Geschätzte Distanz der Doppelbilder vom Beobachter.	66,0	76,0	87,0	96,0	60,5	66,5	81,5	58,0	60,0	72,5	82,0	60,0
	65,5	73,5	84,5	95,5	59,5	69,0	80,5	57,5	62,5	71,0	83,0	58,0
	64,5	72,5	85,0	93,0	58,5	68,5	79,0	56,5	63,0	70,3	79,0	59,0
	64,0	75,0	86,0	95,0	59,5	68,0	80,5	57,5	60,0	71,0	80,0	58,0
	64,5	75,0	85,5	95,5	59,0	70,0	79,0	57,0	62,0	69,0	84,0	58,0
4. Mittelwert.	64,9	74,6	85,6	95,1	59,3	68,4	80,1	57,3	61,5	70,8	81,6	58,6
5. Mittlere quadr. Abweichung der Einzeleinstellungen vom Mittelwert.	±0,7	±1,3	±0,9	±1,1	±0,8	±1,2	±0,8	±0,5	±1,3	±1,1	±1,9	±0,8
6. Absoluter Schätzungsfehler.	+3,9	+3,6	+4,6	+4,1	−1,7	−2,6	−0,9	−3,7	+0,5	−0,2	+0,6	−2,4
7. Relativer Schätzungsfehler bezogen auf die Distanz des in Doppelbilder zerfällten Objektes vom Beobachter.	0,06	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,01	0,06	0,01	0,00	0,01	0,04

für den Blick in die Nähe und in die Ferne. Betrug der Abstand des Fixationsobjektes vom Beobachter 150 cm und mehr, so erfolgte die Tiefenlokalisation der gekreuzten Doppelbilder, bezogen auf die scheinbare Ferne des in Doppelbilder zerfällten Objektes, bestimmt im Sinne einer Überschätzung (Tabelle V und VI). Für geringere Distanzen des Fixationspunktes vom Beobachter konnte — bei individuell verschiedener Abweichung — für direktes Einfach- und binokulares Doppeltsehen annähernde Übereinstimmung in der Auffassung von Tiefendistanzen konstatiert werden, während für noch größere Nähe (80 cm und darunter) des Blickpunktes beim Doppeltsehen eine Distanzunterschätzung Platz zu greifen schien.

Für einen gegebenen Fixationspunkt ergab der begangene, absolute Schätzungsfehler bei wechselnder Ferne des in Doppelbilder zerfällten Objektes mit großer Annäherung eine Konstante, erwies sich aber in allen Fällen des gekreuzten Doppeltsehens geringer als der bei ungekreuzten Doppelbildern beobachtete.

§ 18. Vergleich zweier durch Doppelbilder abgegrenzter Tiefendistanzen durch Gleicheinstellungsversuche am Apparat.

Sind a, b und c drei in der Medianebene hintereinander gelegene Punkte, deren gegenseitiger Abstand so gewählt ist, daß $ab = bc$, so wird

1. bei Fixation von b die Distanz des gekreuzten Doppelbildes a_1a_2 mit der Distanz des ungekreuzten Doppelbildes c_1c_2 vom Fixationspunkt,

2. bei Fixation von a die Entfernung der beiden ungekreuzten Doppelbilder b_1b_2 und c_1c_2 vom Blickpunkt und

3. bei Fixation von c die Tiefendistanz des einen gekreuzten Doppelbildes a_1a_2 mit der des andern b_1b_2 vom Fixationspunkt verglichen werden können.

Zur Ermöglichung quantitativer Einstellungen würde es dann nur der geringen Modifikation bedürfen, daß, wenn im ersten Falle a und b in konstanter Entfernung vom Beobachter sich befinden, c zum Zwecke der Gleicheinstellung variabel gehalten wird, während im zweiten und dritten Falle b in seiner Entfernung vom Beobachter

variiert werden kann, bis die Tiefendistanzen $a—c_1 c_2$ bzw. $a_1 a_2—c$ der Versuchsperson durch das Doppelbild $b_1 b_2$ von b halbiert erscheinen.

1. Versuchsgruppe.

In ra_1 befindet sich der Fixationspunkt b (2 mm im Durchmesser), in ra_0 der Punkt a (5 mm Durchmesser) und in ra_2 der Punkt c (5 mm Durchmesser). Die Anordnung involviert durch den Gebrauch von Glasplatten einen geringen Fehler; Punkt a (auf der dem Beobachter abgekehrten Fläche der Glasplatte befestigt) wird durch einfaches Salinglas hindurch, Punkt c (auf der dem Beobachter zugekehrten Seite befestigt) durch zweifaches Salinglas hindurch gesehen. Der dadurch bedingte Helligkeitsunterschied ist indes minimal.

Die Versuchsergebnisse waren ganz überraschende. Ist der wirkliche Abstand der Objekte gegeben durch $ab = bc$, so erscheint die Doppelbilddistanz $b—c_1 c_2$ um sehr viel größer als die Doppelbilddistanz $a_1 a_2—b$. Wider Erwarten war aber der Unterschied zwischen den beiden Doppelbildstrecken so groß, daß er durch Bewegen des Objektes c in entgegengesetzter Richtung, also nach dem Beobachter hin, nicht mehr ausgeglichen werden konnte und quantitative Versuche dadurch unmöglich wurden. Die Rahmen ra_1 und ra_2 konnten einander, der als Fuß dienenden Holzklötze wegen, nur bis auf 14 cm angenähert werden. Befindet sich aber Punkt a in etwa 50 cm Entfernung vom Beobachter, so erweist sich dieser Abstand von 14 cm zwischen den Objekten b und c unter allen Umständen, auch wenn man den Balgen ra_0 ra_1 bis zu seiner vollen Länge auszieht, die Distanz zwischen a und b also 150 cm beträgt, noch als zu groß, um beim Vergleich der Doppelbildstrecken $a_1 a_2—b$ und $b—c_1 c_2$ den Eindruck der Gleichheit zu haben [1]. — Nach unserem Ermessen kann der Beweis, daß die Doppelbilder ihren Ort **nicht** in der scheinbaren Ferne des in Doppelbilder zerfällten, wirklichen Objektes haben, glänzender kaum erbracht werden.

---

[1]) Die Distanz ab noch weiter zu vergrößern, schien uns deshalb nicht ratsam, weil das Doppeltsehen dann Schwierigkeiten bereitet und jener Zwang zur Stereoskopie wieder Einfluß gewinnt, den wir in allen Versuchen auszuschließen uns bemühten.

2. Versuchsgruppe.

In d_2 befindet sich der Fixationspunkt a (1 mm Durchmesser), in ra_1 der Punkt b (5 mm Durchmesser) und in ra_2 der Punkt c (10 mm Durchmesser). Der Gebrauch von Glasplatten involviert hier keinerlei Fehler, da Punkt b auf der dem Beobachter abgekehrten, c aber auf der dem Beobachter zugekehrten Seite der entsprechenden Glasscheibe befestigt ist.

Die vorgenommenen Versuche ergaben zunächst, daß sich die Schätzungsbedingungen unter den gegebenen Verhältnissen psychologisch äußerst schwierig gestalten. Wird b sehr dicht an a herangerückt, so ist der Intensitätsunterschied zwischen den beiden Doppelbildern $b_1 b_2$ und $c_1 c_2$ so groß, daß $b_1 b_2$ weit mehr als um die Hälfte näher erscheint als $c_1 c_2$; versucht man alsbald die Distanz ab dementsprechend zu vergrößern, so erhält man den Eindruck einer Kontrastwirkung in dem Sinne, daß die Doppelbilder unter sich aneinander zu rücken scheinen und nun $b_1 b_2$ als weit über der Mitte hinausstehend geschätzt wird. Eine Versuchsperson äußerte sich dahin, daß sie den Eindruck habe, als ob die Doppelbilder magnetisch wären und sich gegenseitig anzögen. Was das Tiefenbewußtsein anbelangt, so hat man die deutliche Vorstellung von einer sehr großen Tiefendistanz (a—$b_1 b_2$) und dann noch von einer sehr großen Tiefendistanz (a—$c_1 c_2$), die uns größer dünkt als die erste; ein Urteil darüber aber, wieviel der Unterschied beträgt, zu fällen, ist geradezu unmöglich. — Diesen Schwierigkeiten zu begegnen haben wir nichts unterlassen. Eine größere Annäherung an den psychologischen Tatbestand einer »Distanzhalbierung« oder »Mitteneinteilung« erreichten wir dadurch, daß wir dem Beobachter eine perspektivische Betrachtung der Punktreihe a, b, c ermöglichten, indem die Lage des Fixationspunktes a etwas tiefer, des Doppelbildes $c_1 c_2$ aber etwas höher gewählt wurde als der Ort, den jeweils das Doppelbild $b_1 b_2$ einnahm. Die Versuchsmethode erfuhr weiterhin die Modifikation, dem Beobachter vorerst nur das äußerste Doppelbild $c_1 c_2$ zu exponieren, um, ähnlich wie oben bei der Ortsbestimmung für gekreuzte Doppelbilder (vgl. S. 51), das andere Doppelbild $b_1 b_2$ erst später im Sehfeld auftauchen zu lassen; die Versuchsperson kann sich dann nicht allein der Tiefendistanz des Doppelbildes $c_1 c_2$ besser vergewissern, sondern wird auch

vorbereitend bereits eine Vorstellung zu gewinnen versuchen können, an welcher Stelle etwa das zweite Doppelbild $b_1 b_2$ auftauchen müßte, um die Strecke $a—c_1 c_2$ annähernd zu halbieren. Das Gefühl der Sicherheit gewinnt dadurch ungemein; gleichwohl ist die Beurteilung noch sehr schwierig. Unter Beobachtung dieser Kautelen ist es alsdann bei großen Distanzen ($ab = 65$ cm, $ac = 130$ cm), weil das entfernte Doppelbild sich nicht allzu deutlich vom mittleren abhebt, noch schwer, zu sagen, ob die objektive Mitte scheinbare, subjekte Gleichheit ergibt oder nicht. Bei kleineren Distanzen ($ab = 20$ cm, $ac = 40$ cm) hingegen ist es absolut gewiß, daß, wenn $ab = bc$, die Strecke $a—c_1 c_2$ nicht halbiert erscheint, sondern die Objekte für scheinbare Gleichheit eine Anordnung etwa im Verhältnis $ab : bc = 3 : 1$ erfahren müssen.

3. Versuchsgruppe.

In ra_2 befindet sich der Fixationspunkt c, die beiden Punkte a und b in ra_0 und ra_1. Alle drei Punkte haben einen Durchmesser von 5 mm und sind so angeordnet, daß c höher, a aber tiefer in der Medianebene gelegen ist als b.

Punkt a und b wird durch einfaches, Punkt c durch doppeltes Salinglas hindurch gesehen.

Die Versuchsmethode ist so wie in der 2. Versuchsgruppe: Das nähere Doppelbild ($a_1 a_2$) wird zuerst allein exponiert, das mittlere ($b_1 b_2$) später eingeschaltet.

In diesen Versuchen konnte durchgängig eine Kontrasterscheinung in dem Sinne konstatiert werden, daß die nicht fixierten Punkte, hinsichtlich ihres Tiefenabstandes voneinander, enger zusammentreten und zwar so, daß der extremere Punkt den andern anzuziehen scheint. Bei kleinen Distanzen ist das Phänomen weit eindringlicher als bei großen. Unter keinen Umständen aber ergibt die objektive Mitte ($ab = bc$) scheinbare Gleichheit beim Doppeltsehen. Das Doppelbild $a_1 a_2$ scheint im Vergleich zu dem zugehörigen Objekt a nach hinten, das Doppelbild $b_1 b_2$ im Vergleich zu b sehr weit nach vorn zu rücken, während der Fixationspunkt c, wahrscheinlich auf Grund der Luftperspektive durch das Glas, in etwas größere Ferne verlegt wird.

4. Kapitel.

Lageveränderungen der Doppelbilder im Raume.

§ 19. Lageveränderungen der Doppelbilder im Raume auf Grund objektiver Faktoren.

Aus der Möglichkeit einer quantitativen Bestimmung des Ortes der Doppelbilder fließt mit Notwendigkeit die Konsequenz hervor, daß die Lokalisation der Doppelbilder eine bestimmte (konstant unter konstanten äußeren Bedingungen) ist. Eine weitere Frage ist nun die, wie die Lokalisation der Doppelbilder bei wechselnden äußeren Umständen sich gestaltet. Es ergibt sich alsbald, daß bei Variation der Versuchsbedingungen auch Lageveränderungen der Doppelbilder auftreten. So ist es eine hinreichend bekannte Erscheinung, daß beim Heringschen Fallversuch nicht nur infolge der schwankenden Aufmerksamkeit oder zu kurzer Expositionsdauer Fehler im allgemeinen begangen werden, sondern auch objektiv die Bedingungen so hergestellt werden können, daß die Fehler nach einer bestimmten Richtung hin ausfallen. Man erlebt z. B. die Täuschung, daß die Mehrzahl der Kugeln, auch von den hinten herabfallenden, vorn herabzufallen scheint, wenn der Fixationspunkt von solcher Größe und Farbe ist, daß seine Helligkeit einen wirksamen Faktor abgibt gegenüber der fallenden Kugel. Die hellere Kugel scheint dann, auch wenn sie hinten herabfiel, vorn zu fallen, weil, wie G. Hirth (25), M. Pickert (36) und R. Fröhlich (11) betonen, bei gleicher Entfernung der reflektierenden Körper im allgemeinen hellere Lichter als näher empfunden werden.

Oder man legt, wie es A. van der Meulen (32) und R. Greff (15) taten, prismatische Gläser vor die Augen, deren Ablenkungswinkel groß genug gewählt ist, um einen vor dem Fixationspunkt gelegenen doppelt gesehenen Punkt auf nasalwärts gelegene Netzhautstellen abbilden zu lassen im Vergleich zu den Bildpunkten des Fixationspunktes. Alle Kugeln, auch die vorn fallenden, scheinen dann hinten herabzufallen, weil für das Auge objektiv ähnliche Bedingungen bestehen wie für ein ungekreuztes Doppelbild bei normalem Sehen.

Es haben endlich auch, unabhängig von Hering, M. Sachs (37) und R. Fröhlich (11) experimentelle Veranstaltungen getroffen, aus

denen hervorgeht, daß die Lokalisation der Doppelbilder bzw. deren Halbbilder sich ändern kann auf Grund der Umgebung, in der sie sich dem Beobachter präsentieren und ein Wechsel hier konsekutiv einen Wechsel dort bedingt.

Ist sonach der Einfluß der Umstände, unter denen die Beobachtung erfolgt, auf die Lokalisation der Doppelbilder unzweifelhaft, so war es aber weiterhin für vorliegende Arbeit eine Frage von hohem Interesse, ob es auch Bedingungen geben kann, unter denen Doppelbilder in der Ebene des Blickpunktes lokalisiert erscheinen, eine Frage übrigens, die unsers Wissens Gegenstand einer wissenschaftlichen Untersuchung noch nicht war. Die Lokalisation der Doppelbilder im Horopter ist von den Gelehrten einerseits als Tatsache behauptet, anderseits heftig bestritten worden. Nun kann aber streng genommen eine Tatsache kein strittiger Punkt sein. Tatsachen, die auf Allgemeingültigkeit Anspruch erheben, müssen auch der Beobachtung zugängig sein, man muß sich von ihnen überzeugen können. Das war aber damals gerade deshalb ausgeschlossen, weil auf seiten derer, die die Möglichkeit der Doppelbilderlokalisation im Horopter behaupteten, die Kenntnis jener Bedingungen fehlte, unter denen ihre Behauptung der Nachprüfung stand hielt.

§ 20. Lageveränderungen der Doppelbilder im Raume auf Grund subjektiver Faktoren.

Es wurde oben bereits dargetan, daß Hering die Möglichkeit, Doppelbilder in der Ebene des Fixationspunktes zu lokalisieren, schon aus theoretischen Gründen ausschließt. Würden die Doppelbilder in der Tiefe des Blickpunktes gesehen, so müßten gekreuzte Doppelbilder ungemein vergrößert, ungekreuzte überaus verkleinert erscheinen, was aber nach Hering der Erfahrung widerstreitet. — Wir konnten im Gegensatz hierzu nun allerdings konstatieren, daß zwischen dem Doppelbild und dem in dieses Doppelbild zerfällten Objekte nicht allein auffallende Größenunterschiede bestehen, sondern diese sogar in dem von Hering geforderten Sinn ausfallen. Das Objekt erscheint für gekreuzte Doppelbilder relativ vergrößert, für ungekreuzte sehr viel verkleinert.

Auch die Behauptung von Donders, daß die Leere des Raumes

die Bedingung sei, unter welcher die Doppelbilder in der Ebene des Blickpunktes erscheinen, kann nach dem gegenwärtigen Stand der Untersuchung nicht mehr aufrecht erhalten werden. Der Doppelbilderapparat bietet im Sinne von Donders einen leeren Raum dar, der außer dem Fixationspunkt und dem Hintergrund keinerlei Anhaltspunkte gewährt und doch erfolgte die Lokalisation, je nach der Lage des Blickpunktes, mit großer Sicherheit vor oder hinter demselben.

Wundt und Tschermak-Hoefer endlich behaupten die Lokalisation der Doppelbilder in der Tiefe des Blickpunktes als eine Modifikation, die bei längerer Fixation eintritt. So gewiß nun auch diese Modifikation nicht die notwendige Folge der Expositionsdauer an sich sein kann, weil es, wie wir feststellen konnten, Beobachter gibt, für die das Doppelbild, auch wenn es noch so lange exponiert bleibt, eine Lageveränderung nicht erfährt, so gewiß schienen uns die von Wundt und Tschermak-Hoefer beschriebenen Beobachtungen im Zusammenhang zu stehen mit jenen Störungen (vgl. oben S. 31) bei der Ortsbestimmung der Doppelbilder am Apparat, die sich darin äußerten, daß die Doppelbilder für Momente hinsichtlich ihrer Tiefenlokalisation etwas Vages und Schwebendes und Unbestimmtes annahmen. Da aber nun in unseren Versuchen die äußeren Bedingungen konstant waren, so kann das Phänomen seinen Grund nur im Beobachter selbst haben; damit war gleichzeitig die Richtung gekennzeichnet, in der die weiteren Untersuchungen zu erfolgen hatten.

§ 21. Vorversuche.

1. Bei den Übungen im Doppeltsehen, denen wir oblagen, benützten wir eine kleine Glasplatte, auf der ein Punkt von 10 mm Durchmesser befestigt war; eine dahinter gehaltene Stricknadel diente zur Fixation. Es gelingt leicht, das von dem Punkte herrührende gekreuzte doppelseitige Doppelbild nicht auf der Glasscheibe zu lokalisieren, sondern zwischen Nadel und Glas zu sehen. Neigt man aber nun die Nadel etwas gegen das Licht, so daß ihre glänzende Spitze einen intensiveren Fixationspunkt abgibt, so steht das Doppelbild auf einmal zu beiden Seiten des Fixationspunktes. Richtet man jetzt die Nadel wieder auf, so ist der Eindruck folgender: in der linken Hand hält man ein Stück Glas, dann kommt die von der

rechten Hand gehaltene fixierte und binokular einfach gesehene Nadel und hinter dieser steht das Doppelbild des in Wirklichkeit auf der Glasplatte befindlichen Punktes, d. h. es erscheint in diesem Fall ein Doppelbild, das von einem Objekt vor dem Fixationspunkt herrührt, hinter demselben. Das ganze Phänomen ist namentlich im Anfang äußerst labil; die geringste Blickschwankung, ja schon das Geräusch vom Öffnen einer Tür versetzt das Doppelbild an seinen alten Ort vor dem Blickpunkt zurück. Hat man aber die Erscheinung nur erst einmal gehabt, so ist sie auch leicht wieder zu erzeugen, und der Versuch gelingt mit jeder Wiederholung immer besser. Man ist bald auch in der Lage die Größenverhältnisse genauer studieren zu können und findet, daß die Halbbilder, sobald sie hinter den Fixationspunkt treten, stark vergrößert erscheinen und weit verschwommenere Umrisse aufzeigen. Diese Tatsache gibt der Vermutung Raum, daß nicht allein die Akkommodation dabei im Spiele ist, sondern auch die gleichfarbige Induktion größeren Einfluß zu gewinnen scheint, während außerdem, wenn eine das Phänomen stets begleitende eigenartige Empfindung im Auge als Kompensationsdruck gedeutet werden darf, auch Konvergenzantagonismen wirksam zu werden scheinen.

2. Der bei Hering (Beiträge zur Physiologie, 5. Heft, S. 340) beschriebene Versuch wird wiederholt und bestätigt gefunden: »Halte ich eine Stecknadel nahe vors Gesicht und fixiere sie symmetrisch, halte ferner einen feinen, schwarzen Draht ein wenig nach links von der linken Gesichtslinie, aber näher als die fixierte Nadel..., so sehe ich zunächst... die beiden Trugbilder des näheren Drahtes zwar gesondert, aber beide näher als die fixierte einfach erscheinende Nadel. Fixiere ich aber anhaltend fest und konzentriere ich meine ganze Aufmerksamkeit möglichst auf die fixierte Stecknadel, so tritt das eine, dem linken Auge angehörige Trugbild plötzlich hinter die Stecknadel. Die Erscheinung tritt gerade dann am sichersten ein, wenn ich am wenigsten daran denke. Die geringste Schwankung des Blickes aber, oder auch nur der Gedanke an das zweite, näher erscheinende Trugbild versetzt das andere sogleich wieder vor die Kernfläche.« — Helmholtz, der diesen Versuch gleichfalls nachprüfte, erklärt das Gelingen desselben aus dem Entstehen negativer Nachbilder (vgl. Physiol. Optik, S. 965 f.).

Nach Kenntnisnahme vorstehender Versuche dürfte man sich der

Überzeugung nicht mehr verschließen können, daß es tatsächlich subjektive Faktoren gibt, die unabhängig von den sonstigen äußeren Bedingungen Lageveränderungen der Doppelbilder herbeiführen können. Es zeigte sich aber auch im weiteren Verlaufe der Versuche, daß man es in der Erzeugung solcher Lageveränderungen durch Übung zu einer überaus großen Fertigkeit bringen und die im Sehorgan sich zweifelsohne dabei vollziehenden Veränderungen fast vollständig in seine Gewalt bekommen kann, um sie dann willkürlich herbeizuführen. Es gelingt alsdann, nicht allein ein gekreuztes Doppelbild hinter dem Blickpunkt oder ein ungekreuztes vor diesem zu sehen, sondern man kann auch von dem gekreuzten Doppelbild nur das eine Halbbild nach hinten verlegen, während das andere vorn bleibt, und umgekehrt von einem ungekreuzten Doppelbild nur das eine Halbbild nach vorn versetzen, indes das andere seinen Ort hinter dem Fixationspunkt beibehält. Bringt man im Doppelbilderapparat hinter oder vor dem Fixationspunkt in verschiedenen Abständen vom Beobachter eine Anzahl Punkte an, so ist es in der Tat eine überraschende Erscheinung, wie man die einzelnen Halbbilder gleich Bällen im Raume willkürlich umherwerfen kann.

§ 22. **Terminologie.**

Im Interesse einer besseren Charakteristik der Beobachtungen dürfte es wünschenswert erscheinen, eine Vereinbarung zu treffen über die zu gebrauchende Terminologie.

1. Als Tiefenvariation eines Doppelbildes bezeichnen wir alle Lageveränderungen, welche dieses bei gleichbleibenden äußeren Bedingungen eingeht auf Grund von zentral oder peripher ausgelösten Vorgängen im beobachtenden Subjekt.

2. Den Spezialfall von Tiefenvariation, wo das Doppelbild von einem vor dem Blickpunkt gelegenen Gegenstand hinter diesem und vice versa das Doppelbild eines Gegenstandes hinter dem Fixationspunkt vor demselben lokalisiert erscheint, nennen wir Tiefeninversion.

3. Die Lokalisation eines Doppelbildes in der Ebene des Blickpunktes bildet den Grenzfall der Tiefeninversion und ist ein weiterer Spezialfall der allgemeinen Tiefenvariation.

4. Scheint endlich das eine Halbbild des Doppelbildes vor, das andere aber hinter dem Fixationspunkt zu stehen, so kann das eine partielle Inversion dieses Doppelbildes genannt werden.

Versuche am Apparat.

Die Versuche am Doppelbilderapparat setzen sich die Beantwortung folgender Fragen zum Zweck:

1. Wo d. h. an welchem Ort im Raume können Doppelbilder auf Grund eintretender Tiefenvariationen gesehen werden?

2. Welche Veränderungen gehen bei den Tiefenvariationen am Doppelbildeindruck vor sich?

3. Welche Umstände erleichtern oder erschweren den Eintritt einer Tiefenvariation?

§ 23. Tiefenvariationen und speziell Inversionen bei symmetrisch zur Medianebene gelegenen gekreuzten Doppelbildern.

Die Spaltöffnung rechts seitwärts am Würfel ist geschlossen; der Spiegel wird aus dem Würfel entfernt. In d_2 befindet sich ein Diaphragma von 4,5 × 6,2 cm Größe. Der Fixationspunkt ist in ra_3 angebracht und hat 5 mm im Durchmesser; der in ein Doppelbild zerfällte Punkt (16 mm Durchmesser) befindet sich in ra_1. Beide Punkte liegen auf der horizontalen Orientierungslinie. Achten wir zunächst auf den Ort, an welchem das Doppelbild gesehen werden kann, so ergibt sich folgendes:

1. Beim ersten Anblick präsentiert sich das Doppelbild dem Beobachter in seiner normalen Tiefenlokalisation, wie sie oben quantitativ bestimmt wurde. Diese Lokalisation ist eine vor allen andern ausgezeichnete einmal dadurch, daß sie große Stabilität besitzt. Für die Mehrzahl der Beobachter, denen die Tatsache der Inversion unbekannt ist, scheint das Doppelbild diesen Ort nie oder doch nur in Ausnahmefällen und momentan zu verlassen [1]; aber auch für Beobachter, die im Invertieren geübt sind, ist dieser Ort gekennzeichnet

[1]) Herr Dr. Moore hat am Apparat im Verlauf von zwei Semestern gegen 1000 Gleicheinstellungen vollzogen, ohne daß ihm — wir haben es absichtlich vermieden, ihn darin zu üben — das Phänomen der Inversion bekannt geworden wäre. Ebenso blieb diese Erscheinung den Herren Dr. Reuther und cand. philos. Hoffmann bis zur letzten Gleicheinstellung fremd.

durch die Beharrlichkeit, mit der er vom Doppelbild behauptet wird und die starke Tendenz dislozierter Doppelbilder, in diese Ausgangsstellung zurückzukehren. Zum andern ist aber auch der gesamte Totaleindruck für diese Lokalisation charakteristisch. Die beiden Halbbilder sind zwar größer als das binokular einfach gesehene Objekt, lassen aber in bezug auf die Farbenintensität kaum einen Unterschied erkennen und haben noch relativ scharfe Konturen, — bei dislozierten Doppelbildern ist das anders.

2. Das Doppelbild ist invertiert und scheint seinen Ort auf dem Hintergrund *h-h* zu haben. Die Halbbilder erscheinen dann stark vergrößert, sind viel heller und zeigen so verschwommene Umrisse, daß man meint, sie seien von einer Dunstzone umgeben. Beim Schließen der Augen läßt sich eine stark simultane Induktion an den kräftigen, negativen Nachbildern erkennen.

3. Das Doppelbild hat seinen Ort zwischen Hintergrund und Fixationspunkt. Diese Lokalisation ist sehr selten und muß als metalabil bezeichnet werden, weil es nur für Momente gelingt, das Doppelbild dort festzuhalten. Das Urteil eines Beobachters lautete: »Jetzt eben stand das Doppelbild dicht vor dem Hintergrund«.

4. Die Halbbilder erscheinen in gleicher Tiefe mit dem Fixationspunkt. Dieser Eindruck ist leicht zu erzeugen und hält der Beobachtung sehr lange stand; er besitzt unter allen Tiefenvariationen die geringste Labilität.

5. Das Doppelbild ist teilweise invertiert: Das eine Halbbild steht vor, das andere hinter dem Fixationspunkt. Das näherstehende Halbbild erscheint dabei kleiner, schwärzer und schärfer umrandet.

6. Die Doppelbilder erscheinen in einer zweiten Etappe lokalisiert: dem Fixationspunkt näher, aber noch davor. Diese Variation ist eine metalabile, an der Verschwommenheit der Konturen aber noch deutlich als solche zu erkennen.

7. Es ist uns nie gelungen, das Doppelbild in den Spalt (d_2) zu verlegen.

8. Bewegt man die Glasplatte, welche das in ein Doppelbild zerfällte Objekt trägt, in vertikaler Richtung auf und ab, während das Doppelbild invertiert ist, so scheinen sich die invertierten Halbbilder an ihrem jeweiligen Ort (Hintergrund, Ebene des Fixationspunktes usw.) in einer senkrechten Ebene zu bewegen.

An den Anhaltspunkten im Raume, die der Doppelbilderapparat dem Beobachter für die Tiefenlokalisation gewährt, nämlich dem an der Rückwand des Würfels befindlichen Spalt, dem Hintergrund und dem Fixationspunkt, konnten wir während der Inversion nur an dem letzteren eine auffallende Änderung bemerken: der Fixationspunkt wird bei eintretender Tiefeninversion an den Beobachter merklich herangedrückt.

Inversionen werden durch momentane Exposition verhindert und durch die Möglichkeit längerer Fixation begünstigt; sie werden durch einen sehr kleinen Fixationspunkt erschwert, durch einen größeren, von dem in Doppelbilder zerfällten Objekt indes verschieden großen Fixationspunkt erleichtert.

Die Lageveränderung, die das Doppelbild durch Inversion erfährt, ist eine plötzliche und sprungweise; die Veränderung im Aussehen der Halbbilder dagegen ist eine kontinuierliche: die Punkte scheinen sich rasch aufzublähen — dann stehen sie plötzlich hinter dem Fixationspunkt; sie schwinden alsdann wieder rasch zusammen, wobei sie an Intensität gewinnen und schärfere Umrisse annehmen — dann stehen sie mit einem Ruck wieder vorn.

§ 24. Tiefenvariationen und speziell Inversionen bei symmetrisch zur Medianebene gelegenen ungekreuzten Doppelbildern.

Die Spaltöffnung d_3 ist geschlossen, der Spiegel aus dem Würfel entfernt. Der in ein Doppelbild zerfällte Punkt (16 mm Durchmesser), mit dem Fixationspunkt auf der horizontalen Orientierungslinie liegend, befindet sich in ra_2.

I. Ein winzig kleiner Fixationspunkt wird im Diaphragma d_2 angebracht.

Außer der normalen Lokalisation des Doppelbildes weit hinter dem Fixationspunkt und dem doppelt gesehenen Objekt konnten wir konstatieren:

1. Die Lokalisation des Doppelbildes in einer zweiten Etappe, näher dem Fixationspunkt, aber noch hinter diesem (etwa in der Tiefe des in Halbbilder zerfällten Objektes),

2. Die Lokalisation der Halbbilder zu beiden Seiten des Fixationspunktes im Spalt,

3. In einigen wenigen Fällen sogar vor dem Spalte innerhalb des Würfels. Dabei scheint der Fixationspunkt vom Beobachter weggedrückt zu werden.

II. Ein größerer Fixationspunkt (5 mm Durchmesser) wird in d_2 befestigt.

Eine Erleichterung der Inversionen ist sofort zu bemerken. Bei eintretender Tiefenvariation wird der Fixationspunkt alsdann in größere Ferne verlegt und erscheint deutlich vergrößert.

III. Der Fixationspunkt ist 40 cm hinter dem Spalt in ra_0 befestigt; der in Halbbilder zerfällte Punkt wird dementsprechend weiter weggerückt.

1. Das Doppelbild erscheint jetzt in einer neuen Etappe zwischen Fixationspunkt und Spalt und zwar um ein Dritteil der Distanz näher am Fixationspunkt.

2. Das Doppelbild wird weniger leicht in die Ebene des Fixationspunktes (obwohl es auch dort gesehen werden kann) verlegt, dafür aber um so leichter in den Spalt.

3. Bei dieser Lage des Fixationspunktes gelingt es um keinen Preis, das Doppelbild vor dem Spalt, also im Würfel drin, zu sehen.

In allen Fällen steht das invertierte Doppelbild nicht so weit vor dem Fixationspunkt als es ehedem, bei normaler Lokalisation, hinter diesem lokalisiert zu sein schien; die Halbbilder auf den Hintergrund zu verlegen, konnte durch keinerlei Variation erreicht werden.

Zu den Veränderungen, die der Gesamteindruck des Doppelbildes bei der Tiefeninversion erfährt, ist zu bemerken, daß diesfalls die Halbbilder verkleinert, an Intensität heller und in ihren Konturen verwaschener erscheinen; das Phänomen ist aber hier bei weitem nicht so eindringlich wie bei der Tiefeninversion gekreuzter Doppelbilder.

5. Kapitel.

§ 25. Zur Theorie der Tiefenlokalisation von Doppelbildern.

Nach der Problemstellung hat eine erklärende Zusammenfassung der Ergebnisse vorliegender Arbeit den Versuch zu machen, die Tiefenlokalisation der Doppelbilder aus den Raumfaktoren zu entwickeln, die das normale Einfachsehen bedingen. In gewissem Sinne scheint dieser Weg in der Tat mit Erfolg beschritten werden zu

können. Helmholtz weist wiederholt darauf hin, daß für deutlich getrennte Doppelbilder hinsichtlich ihrer Tiefenlokalisation ähnliche Bedingungen Platz zu greifen scheinen, wie sie für das monokulare Einfachsehen bestehen. Durch einen größeren Abstand der Halbbilder eines Doppelbildes voneinander werden wir frei von dem Zwang, sie stereoskopisch vereinigen zu müssen; damit hört aber gleichzeitig, so sagt Helmholtz, die binokulare Tiefenwahrnehmung ganz auf; »man kann die wahre Entfernung des ferneren Gegenstandes gar nicht mehr erkennen und daher nur, wie beim monokularen Sehen, seine scheinbare Größe mit der scheinbaren des fixierten Objektes vergleichen, und als Maßstab für beide die durch zweiäugiges Sehen bestimmte wahre Größe des letzteren benützen, wobei dann natürlich die damit verglichene Größe des entfernten viel zu klein ausfallen muß (22)[1]«.

Fixiert man seinen Finger, während die Aufmerksamkeit gleichzeitig einer gegenüberliegenden Häuserreihe zugewandt ist, so wechseln die Häuser ihre scheinbare Größe, je nachdem das Fixationsobjekt in größere oder geringere Ferne vom Gesicht gehalten wird. »Entfernt man den Finger, so nimmt die Winkelgröße des Fingers ab, relativ zu ihm wird die Winkelgröße der Häuser also größer, und wir brauchen den Finger als konstanten Maßstab, da dessen lineare Größe und Entfernung fortdauernd deutlich wahrgenommen wird, die der entfernten Häuser aber nicht (23)[2]«. Was Helmholtz zunächst darzulegen beabsichtigt, ist klar: dem monokularen Einfach- und binokularen Doppeltsehen sind Größentäuschungen gemeinsam! Wir können aber nun von der Relation der Gesichtswinkelgrößen leicht zu einem Tiefenbewußtsein gelangen, wenn wir eine deutliche Vorstellung von der wirklichen Größe des zu schätzenden Objektes besitzen. Diese Kenntnis wird aber dadurch vermittelt, daß wir einen Finger und ein Haus, in gleichen Abständen vom Beobachter befindlich, miteinander vergleichen können. Bewegt man nun, wie oben beschrieben, den als Fixationsobjekt fungierenden Finger von sich weg oder auf sich zu, so kann die Relation der beiden Gesichtswinkelgrößen eine doppelte Deutung erfahren: entweder die Häuser

---

[1]) l. c. 27.
[2]) l. c. 869.

werden bald größer, bald kleiner vorgestellt — dann werden sie in ungeänderter Entfernung gesehen, oder aber die Häuser werden in ihrer wirklichen, also konstanten Größe gedacht — dann werden sie dem Beobachter in wechselnder Tiefe erscheinen müssen. Das Produkt aus Tiefenbewußtsein und Größenbewußtsein ist danach immer annähernd eine Konstante. Für das monokulare Sehen hat Hering neben der Größentäuschung auch diese Tiefentäuschung schon beobachtet. Wir zitieren von ihm die nachstehenden beiden Versuche. Zunächst die Größentäuschung: »Wenn ich von meinem Arbeitstische aufsehe, steht mir ein Schrank gegenüber, dessen Größe mir selbstverständlich annähernd bekannt ist. Halte ich nun meine Hand 8 Zoll vor ein Auge, während das andere geschlossen ist, und bewege sie nicht zu schnell, so daß mein Auge ihr folgen kann, gerade vorwärts bis auf 24 Zoll Entfernung, indem ich meinen Blick auf sie hefte, so sehe ich den etwa 8 Ellen von meinem Auge entfernten Schrank deutlich größer werden; führe ich die Hand in ähnlicher Weise zurück, so schrumpft er wieder zusammen (16)[1])«.

Nun wird weiterhin aber auch die Tiefentäuschung beobachtet: »Wenn ich mich vor einem großen Spiegel so aufstelle, daß ich ihn eben noch mit der Hand erreichen kann, dann ein Auge bedecke und zwischen das andere und das Spiegelbild meines Gesichts eine Hand bringe, so scheint mir diese Hand, wenn ich sie zwischen Spiegel und Gesicht hin- und herführe, abwechselnd größer und kleiner zu werden, während ich das von meiner Hand teilweise bedeckte Spiegelbild meines Kopfes betrachte. Sammle ich aber meine Aufmerksamkeit fast ganz auf der Hand, während ich gleichwohl meinen Kopf im Spiegel nebenher leicht beachte, so scheint mir derselbe, wenn die Hand sich meinem Auge nähert, zwar nicht gerade kleiner zu werden, wohl aber sich entsprechend vom Spiegel zu entfernen; kommt dagegen die Hand zum Spiegel zurück, so kommt auch das Spiegelbild meines Kopfes wieder näher[2]).«

So gewiß nun auch die Helmholtzsche Vermutung bezw. Annahme, die Gesetzmäßigkeiten des monokularen Einfachsehens mutatis mutandis auf das binokulare Doppeltsehen übertragen zu können,

---

[1]) l. c. I, 16.
[2]) l. c. I, 18.

gerechtfertigt zu sein scheint, so gewiß ist es aber auch, daß speziell bei der Tiefenlokalisation der Doppelbilder das Tiefenbewußtsein im Wesentlichen **nicht** aus dem Größenbewußtsein abgeleitet sein kann. Aus drei Gründen:

1. Die bei der Lokalisation von Doppelbildern beobachtete Tiefentäuschung besteht, wenn auch nicht in vollem Umfange, so doch eindringlich genug fort für den Fall, daß man überhaupt kein Fixationsobjekt benützt, sondern durch einfaches Schielen die Gesichtslinien auf einen vor dem zu schätzenden Objekt gelegenen, imaginären Fixationspunkt einstellt.

2. Die Tiefenschätzung auf Grund der relativen Größenschätzung nach dem Gesichtswinkel muß sich notgedrungen beschränken auf bekannte Objekte. In unsern Versuchen über die Tiefenlokalisation von Doppelbildern aber konnte dargetan werden, daß das, was den Tiefenort bestimmen soll, nämlich die deutliche Vorstellung der Größe des wirklichen in Doppelbilder zerfällten Objektes, dem Beobachter vollständig fehlte.

3. Verhütet man es, daß die Versuchsperson das in Doppelbilder zerfällte Objekt vorher stereoskopisch einfach sieht, so wählt diese, wenn sie veranlaßt wird, die wirkliche Objektgröße nach dem Doppelbildeindruck zu schätzen, aus einer ihr dargebotenen Serie von Punkten stets einen zu großen Punkt aus (vgl. Tabelle II, 13, S. 45) d. h. im Anschluß an die von uns beobachtete Tiefentäuschung tritt eine Größentäuschung in Erscheinung entgegengesetzt verschieden von derjenigen, wie sie auf Grund der Gesichtswinkeltäuschung beobachtet wird.

Wir schließen daraus, daß die Tiefentäuschung bei der Lokalisation von Doppelbildern mit der in Rede stehenden Gesichtswinkeltäuschung in gar keinem oder doch nur losem Zusammenhang steht. Immerhin aber dürfte es bemerkenswert sein, daß die Konsequenz der Gesetzmäßigkeit, die wir fanden (scheinbare absolute Vergrößerung des Objekts), unter Umständen versteckt erscheinen kann hinter jenem Nebenerfolg der relativen Schätzung nach dem Gesichtswinkel. Die Helmholtz-Heringsche Beobachtung über die Größentäuschung zeigt nämlich, daß ein bekanntes Objekt, unter denselben Bedingungen, unter denen die Tiefentäuschung und ihre Konsequenz eintreten muß, sogar unterschätzt wird in seiner scheinbaren absoluten Größe. Die

Überdeckung der Konsequenz der Tiefentäuschung durch die Größentäuschung bei bekannten Objekten hat offenbar die völlig selbständige, von Größenschätzung unabhängige Tiefenschätzung vollständig übersehen lassen. Hering erwähnt die Tiefentäuschung neben der Größentäuschung, ohne indes auf die theoretische Begründung näher einzugehen. — Es war aber die weitere Gefahr vorhanden, die Größentäuschung, welche die Konsequenz der von uns beobachteten Tiefentäuschung überdeckt, sogar ihrerseits mit dieser für identisch zu halten; denn nachdem einmal die vollständig selbständig begründete Größentäuschung das Objekt (absolut) kleiner erscheinen läßt, konnte man annehmen, daß dadurch eine Tiefentäuschung in dem Sinne entstehe, daß durch eine Verwechslung von absoluter und relativer scheinbarer Größe das Objekt in größere Ferne verlegt werde. Vielleicht — einige Äußerungen deuten darauf hin — hat Helmholtz tatsächlich die auch bei bekannten Objekten vorhandene, wirkliche Vergrößerung der scheinbaren Tiefe nicht nur beobachtet, sondern theoretisch in dieser Weise sich auch zu erklären versucht, während aus unserer ganzen Betrachtung erhellen wird, daß die scheinbar größere Entfernung des bekannten Objektes nur die restierende Täuschung auf völlig selbständiger Grundlage darstellt, die sogar alle ihr entgegen gerichteten Einflüsse der Schätzung nach dem relativen Gesichtswinkel zu überwinden imstande ist.

Bisher sind aber nun auch alle weiteren Versuche gescheitert, die Phänomene des Doppeltsehens aus bekannten Raumfaktoren einwandfrei abzuleiten. Es könnte naheliegend erscheinen, die Veränderung der dioptrischen Präzision für außerhalb der Fixationsebene befindliche Reize für die Tiefentäuschung beim Doppeltsehen verantwortlich zu machen. In der Tat würden die Akkommodationsunterschiede nicht allein eine Verschiebung sämtlicher nicht fixierter Objekte in die Tiefe erklären, sondern vielleicht auch die objektiv richtigere Auffassung der räumlichen Anordnung von Objekten vor dem Fixationspunkt wegen der relativ geringen Verschwommenheit begreiflich erscheinen lassen. Ein Widerspruch bildet sich indes heraus, wenn man sein Augenmerk darauf richtet, inwieweit z. B. für ungekreuzte Doppelbilder (bei zunehmender Entfernung vom Fixationspunkt) die Zunahme der Tiefentäuschung mit der Zunahme des Grades der Verschwommenheit gleichen Schritt hält. Es ergibt sich alsdann,

daß die Tiefentäuschung anfangs langsam und später sehr rasch zunimmt, während es sich mit der Zunahme der Zerstreuungskreise gerade umgekehrt verhält. Die Schwierigkeit dieser Ableitung aus den rein dioptrischen Verhältnissen läßt darum auf weitere psychologische Ursachen schließen, deren Kenntnis uns heute noch mangelt.

Müssen wir also zurzeit noch darauf verzichten, unsere Arbeit durch eine umfassende Theorie abzuschließen, so glaubten wir doch, das von uns gesammelte Tatsachenmaterial der Öffentlichkeit nicht länger vorenthalten zu dürfen. Eine nachträgliche Ergänzung unserer Abhandlung in theoretischer Hinsicht behalten wir uns indes für später vor und hoffen eine solche in allernächster Zeit schon beibringen zu können, da speziell auf die Gewinnung einer Theorie gerichtete Versuche bereits in Angriff genommen worden sind.

Was die theoretische Begründung der Tiefenunterschiede unter den Halbbildern ein und desselben Doppelbildes betrifft, so werden wir uns hier auf das kürzeste fassen können, da dieses Phänomen schon vielfach Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung gewesen ist

In unserer eigenen Arbeit haben wir zunächst versucht, so weit sich dazu die Gelegenheit bot, das Beobachtungsmaterial durch Beiträge zu vermehren. In theoretischer Hinsicht bemerken wir hierzu, daß neben andern Faktoren vor allem den verschiedenen Bedingungen des Wettstreites der Sehfelder, wie sie durch die zentrale bzw. exzentrische Lage der Bildpunkte eines Halbbildes auf der Netzhaut gegeben sein können, ein bisher wenig beachteter Einfluß zuzukommen scheint. Die Bedingungen für binokulare Mischung sind offenbar in der fovea centralis am günstigsten; daher mischt sich denn auch im Grenzfall von einseitigen und doppelseitigen Doppelbildern das Schwarz des median gelegenen Halbbildes leicht mit dem Braun des Hintergrundes, wodurch das Halbbild ein helleres und gleichzeitig verwascheneres Aussehen erhält. Für das exzentrisch gelegene Netzhautbild des andern Halbbildeindruckes dagegen besteht ein wirklicher Wettstreit der Sehfelder, in welchem auf Grund der Herrschaft von Konturen das Halbbild Sieger bleibt. Infolge der schärferen Umrandung hebt es sich deutlicher vom Hintergrund ab und erscheint eben wegen der damit gegebenen Kontrastwirkung alsdann auch intensiver und deshalb näher.

Durch ein eingehendes Studium der Tiefenvariationen beim Doppeltsehen sind wir befähigt worden, zwischen den so weit auseinandergehenden Ansichten über die Möglichkeit einer Lokalisation der Doppelbilder im Horopter eine vermittelnde Stellung einnehmen zu können. Nach der individuell stark verschiedenen Disposition der Beobachter zu Tiefeninversionen beim Doppeltsehen muß es begreiflich erscheinen, daß sich tatsächliche Beobachtungen bis heute scheinbar als Widersprüche gegenüberstehen konnten. Gleichwohl ist das Phänomen der Doppelbild-Tiefenvariation nicht ein Vorzug einiger weniger Beobachter, sondern durch Übung jedermann in ähnlicher Weise zugänglich, wie etwa die Umkehrtäuschungen bei geometrisch-perspektivischen Figuren, mit denen wir auch jene Doppelbildinversionen am ehesten vergleichen möchten. Ihre Labilität läßt sie uns am besten als momentane Störung der normalen Lokalisation charakterisieren. Der Versuch Herings einer nativistischen Erklärung der schon von ihm beobachteten Erscheinung einer partiellen Inversion (siehe oben S. 64, 2!) aus den »Raumgefühlen der Netzhaut« hat sich für die Ableitung der räumlichen Lage einseitiger Doppelbilder als unzulänglich erwiesen. »Die beiden Trugbilder eines einseitigen d. h. auf entsprechenden Netzhauthälften liegenden Doppelbildes haben — nach dem Theorem vom Ortssinn der Netzhaut — entgegengesetzte Tiefenwerte, d. h. das eine müßte der Theorie nach vor, das andere hinter der Kernfläche erscheinen . . . Es ist vom höchsten Interesse« fährt Hering fort »und war mir ein zwingender Beweis für die wesentliche Richtigkeit der oben entwickelten Theorie, daß ich die einseitigen Doppelbilder bei ganz fester Fixation wirklich so sehe, wie es die Theorie erfordert. Es handelt sich hierbei nicht um einen Einfluß der Reflexion, sondern die Erscheinung tritt auch gegen meine Intention ein und oft, wenn ich es am wenigsten erwarte . . . (16)[1]« — — Hierauf folgt die Beschreibung jenes von uns (S. 64, 2) zitierten Versuches, bei welchem Hering eine charakteristisch normale partielle Tiefeninversion eines Doppelbildes erlebt. Trotz der großen Labilität des Phänomens hält Hering diese partielle Inversion für die normale Lokalisation des Doppelbildes und umgekehrt die durch große Konstanz ausgezeichnete wirklich normale

---

[1]) l. c. V, 340.

Lokalisation des Doppelbildes für eine durch störende Einflüsse modifizierte, während durch die Ergebnisse vorliegender Arbeit genugsam bewiesen sein wird, daß die nach der nativistischen Theorie a priori zu erwartende Lokalisation der Halbbilder eines einseitigen Doppelbildes sich als eine, nur momentan bestehende, partielle Tiefeninversion erweist, und eine Lokalisation entgegengesetzt der zu erwartenden als die normale betrachtet werden muß. Aber auch der von Helmholtz unternommene Versuch, die von Hering beobachtete Inversion aus dem Entstehen negativer Nachbilder zu erklären, muß als unzulänglich bezeichnet werden, schon deshalb, weil man — entsprechende Übung vorausgesetzt — Tiefeninversionen beim Doppeltsehen in jedem Augenblick willkürlich eintreten lassen kann. Ein energisches Hineinversetzen in eine bestimmte Tiefenvorstellung genügt, um den Sinneseindruck momentan entsprechend abgeändert erscheinen zu lassen.

Literaturnachweis.

1. Aguilonius, Franciscus, Opticorum libri sex. Antwerpiae 1613.
2. Le Conte, Joseph, Die Lehre vom Sehen. 1883. Internationale wissenschaftl. Bibl. Bd. 55.
3. Cornelius, C. S., Zur Theorie des Sehens. Halle 1864.
4. Czermak, J., Zur Lehre von den Doppelbildern, die beim Sehen mit beiden Augen entstehen. Wiener Sitzgsber. d. K. Ak. d. W. 1855. Math. naturw. Abt. Bd. 15.
5. Din, Lucas, De visione quae oculo fit gemino. Inaugdiss. Jenae 1714.[1])
6. Donders, Das binok. Sehen und die Vorstellung von der dritten Dimension. Arch. f. Ophth. Bd. 13.
7. ——, Die Projektion der Gesichtserscheinungen nach Richtungslinien. 1871. Arch. f. Ophth. Bd. 17.
8. Emsmann, H., Über Doppeltsehen. 1855. Pogg. Ann. Bd. 16.
9. Fechner, Über einige Verhältnisse des binok. Sehens. Leipzig.
10. Förster, Über das Näherstehen der tieferen Doppelbilder bei Lähmung des Musculus obliquus superior. 1859. 37. Jahresber. d. Schles. Ges. f. vaterl. Kultur.

---

[1]) Joh. Müller macht am Eingang seiner Abhandlung »Von dem natürlichen Doppeltsehen« zwei Werke namhaft: »Lucas Din, de visione quae oculo fit gemino, Jen. 1714« und »Wedel, de visione quae oculo fit gemino, in Halleri disputat. select. T. IV.«, die sich beim Nachsehen als ein und dasselbe Schriftstück erweisen; Joh. Ad. Wedel war im Sommersemester 1714 Dekan, Lucas Din Doktorandus an der Universität Jena.

11. Fröhlich, R., Unter welchen Umständen erscheinen Doppelbilder in ungleichen Abständen vom Beobachter. 1895. Arch. f. Ophth. Bd. 41 (3).

12. von Graefe, A., Über eigentümliche noch unerklärliche Anomalien in der Projektion der Netzhautbilder. 1855. Arch. f. Ophth. Bd. 1 (3).

13. Graefe, Alfr., Klinische Analyse der Motilitätsstörungen des Auges. Berlin 1858. S. 106.

14. ——, Die Förstersche Ansicht »über das Näherstehen der tieferen Doppelbilder bei Trochlearisparalyse« betreffend. 1860. Arch. f. Ophth. 7 (2).

15. Greff, R., Untersuchungen über binok. Sehen mit Anwendung des Heringschen Fallversuchs. Zeitschr. f. Psychol. Bd. 3. 1891.

16. Hering, Ewald, Beiträge zur Physiologie. 1.—5. Heft. Leipzig 1862—65.

17. ——, Das Gesetz der identischen Sehrichtung. Reichert und du Bois-Reymonds Arch. 1864.

18. ——, Die Gesetze der binokularen Tiefenwahrnehmung. S. 79ff. und 152ff. Reichert und du Bois-Reymonds Arch. 1865.

19. ——, Die Lehre vom binokularen Sehen. Leipzig 1868.

20. ——, Physiologie des Gesichtssinnes: Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges. 1879. Herrm. Handb. d. Physiol. III, 1.

21. Helmholtz, Über das Sehen des Menschen. Leipzig 1855.

22. ——, Über den Horopter. 1864. Arch. f. Ophth. Bd. 10.

23. ——, Physiol. Optik: Das binokulare Doppeltsehen. S. 841ff.

24. Hillebrand, Franz, In Sachen der optischen Tiefenlokalisation. 1898. S. 124ff. Zeitschr. f. Psychol. Bd. 16.

25. Hirth, G., Das plastische Sehen als Rindenzwang. 1892.

26. Hoppe, J., Psych.-physiol. Optik. S. 300ff. Leipzig 1881.

27. Hofmann, F. B., Die neueren Untersuchungen über das Sehen der Schielenden. 1902. Ergebnisse der Physiol. Bd. II.

28. Lipps, Th., Grundtatsachen des Seelenlebens. Bonn 1883. S. 566ff.

29. von Martini, F., Die Lage der Doppelbilder bei binok. Sehen. Frauenfeld 1888. Mitteilg. d. Thurg. naturf. Ges. Heft 8.

30. Mauthner, Lehrbuch der Augenmuskellähmungen. Wiesbaden 1889. S. 474ff.

31. Meißner, Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. Leipzig 1826. S. 121f.

32. van der Meulen, Stereoskopie bei unvollkommenem Sehvermögen. 1873. Arch. f. Ophth. Bd. 19.

33. Müller, Joh., Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes des Menschen und der Tiere. Leipzig 1826. S. 167ff.

34. Nagel, Albr., Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen. (S. 88: Doppeltsehen mit zwei Augen.) Heidelberg und Leipzig 1861.

35. ——, Über die ungleiche Entfernung von Doppelbildern, die in ungleicher Höhe gesehen werden. 1862. Arch. f. Ophth. Bd. 8.

36. Pickert, M., Untersuchungen mittels des Heringschen Fallversuchs. Inaug.-Diss. Göttingen 1893.

37. Sachs, M., Über das scheinbare Näherstehen des unteren von zwei höhendistanten Doppelbildern. 1890. Arch. f. Ophth. Bd. 36.

38. Schön, W., Zur Lehre vom binok. indirekten Sehen. Arch. f. Ophth. Bd. 22 (4). 1876.

39. Schulz, Über physiol. Gesichts- und Farbenerscheinungen. 1816. Schweiggers Journal f. Phys. u. Chemie.

40. Tschermak, A. und P. Hoefer, Über binok. Tiefenwahrnehmung auf Grund von Doppelbildern. 1903. Pflügers Arch. Bd. 98.

41. Volkmann, Alfr., Einfach- und Doppeltsehen. 1846. Wagners Handwörterb. d. Physiol. Bd. III, S. 317.

42. ——, Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik. Leipzig 1863—64.

43. Wundt, W., Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. Heidelberg und Leipzig 1862.

44. ——, Grundzüge der physiologischen Psychologie. Bd. II[5], 600ff. Leipzig 1903.

45. ——, Grundriß der Psychologie[6]. Leipzig 1904. S. 161f.

Inhaltsübersicht.

1. Kapitel: Historische Übersicht.

2. Kapitel: Vorbemerkungen und erste Versuchsergebnisse.

3. Kapitel: Die exakte Ortsbestimmung für Doppelbilder am Apparat.

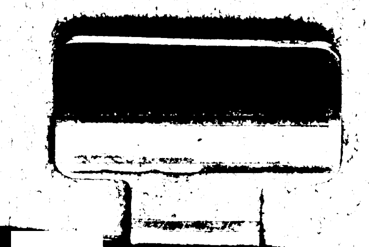
4. Kapitel: Lageveränderungen der Doppelbilder im Raume.

Vita.

Ich, Richard Arwed Pfeifer, evangelisch lutherischer Konfession, wurde am 21. November 1877 in der Bergstadt Brand in Sachsen geboren. Nach dem Besuche der Schule meiner Vaterstadt genügte ich von 1892—98 der Vorbereitung für den Lehrerberuf in dem Kgl. Seminar zu Nossen. In den Jahren 1898—1901 war ich Lehrer an der St. Nikolai-Schule in Meißen. In dieser Zeit verdanke ich vielseitige Anregung zu wissenschaftlicher Arbeit Herrn Pfarrer Hübener in Miltitz und Herrn Realschuloberlehrer Tanzmann (jetzt in Oschatz). Nach bestandener Wahlfähigkeitsprüfung bezog ich Ostern 1901 die Universität zu Leipzig, um mich dem Studium der Mathematik und der Naturwissenschaften zu widmen. Im Sommersemester 1903 sah ich mich durch Krankheit veranlaßt, das Studium auf nahezu zwei Semester zu unterbrechen; ein längerer Aufenthalt auf der Insel Capri in Italien brachte mir die gewünschte Genesung. Im Laufe von sieben Semestern besuchte ich die Vorlesungen bez. Seminare und Laboratorien der Herren Dozenten Dr. Dr. Beckmann, Credner, Des Coudres, Engel, Fischer, Heinze, Hering, Hölder, Kirn, Krueger, Liebmann, Ostwald, Schroeter, Volkelt, Wagner, Wiener, Wirth, Wislicenus, Wundt. Allen meinen Lehrern, welche mich in meinen Studien förderten, danke ich herzlich auch an dieser Stelle!

Leipzig, im Dezember 1905.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.



89094626504
b89094626504a